



INFOTEC CENTRO DE INVESTIGACIÓN E
INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

DIRECCIÓN ADJUNTA DE INNOVACIÓN Y
CONOCIMIENTO
GERENCIA DE CAPITAL HUMANO
POSGRADOS

Esquemas técnicos y regulatorios para el acceso y uso flexible del Espectro Radioeléctrico en México

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN
Que para obtener el grado de MAESTRO EN
REGULACIÓN Y COMPETENCIA ECONÓMICA DE
LAS TELECOMUNICACIONES

Presenta: Ricardo Castañeda Alvarez

Asesor: Mtro. Michel Hernández Tafoya

Ciudad de México,
Noviembre, 2022.

Autorización de impresión



AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN Y NO ADEUDO EN BIBLIOTECA

Maestría en Regulación y Competencia Económica de las Telecomunicaciones, MRCET.

Ciudad de México, 3 de noviembre de 2022.

La Gerencia de Capital Humano / Gerencia de Investigación hacen constar que el trabajo de titulación intitulado

"Esquemas técnicos y regulatorios para el acceso y uso flexible del Espectro Radioeléctrico en México"

Desarrollado por el alumno: **Ricardo Castañeda Alvarez** y bajo la asesoría del **Mtro. Michel Hernández Tafoya**; cumple con el formato de Biblioteca. Por lo cual, se expide la presente autorización para impresión del proyecto terminal al que se ha hecho mención.

Asimismo, se hace constar que no debe material de la Biblioteca de INFOTEC.

Vo. Bo.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke, positioned above a horizontal line.

Mtro. Felipe Alfonso Delgado Castillo
Gerente de Capital Humano

Anexar a la presente autorización al inicio de la versión impresa del trabajo referido que ampara la misma.

Agradecimientos

En primer lugar, doy gracias a Dios, por darme la existencia, cuidar de mí y permitirme llegar hasta aquí. Gracias por tantas bendiciones, Señor.

Agradezco por siempre y para siempre a mi madre, quien ha sido ejemplo de fuerza, tenacidad, inteligencia, resiliencia y amor. Gracias por todo mami.

Gracias a mi querida familia por contar con su apoyo y darme ánimos, comprensión, cariño y paciencia. Sin ellos, no sería quien soy. Gracias, Laura, Emilio y Alexia.

También, agradezco a todas las personas que de forma directa o indirecta han contribuido a mi formación y desarrollo profesional. Son tantas, que me es imposible mencionar a todas y seguramente mi memoria me traicionaría y terminaría omitiendo más de un nombre, pero a todas ellas y ellos, Gracias.

Finalmente, agradezco y felicito al Instituto Federal de Telecomunicaciones por desarrollar programas de desarrollo profesional para que quienes servimos al público, seamos mejores profesionales para contribuir a lograr un México más y mejor conectado, en beneficio de todas y todos.

*Ricardo C.
Noviembre, 2022.*

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	5
Objetivo	i
Resumen	i
Metodología	iv
Marco Conceptual	iv
Introducción.....	1
Capítulo 1. Panorama General de la Gestión del Espectro Radioeléctrico	9
1. Aspectos Jurídicos del Espectro Radioeléctrico	9
2. Naturaleza Técnica del Espectro Radioeléctrico	13
3. Gestión del Espectro Radioeléctrico	15
Capítulo 2. Uso Eficiente del Espectro Radioeléctrico	23
1. ¿Qué es el uso eficiente del espectro?	26
2. Las tecnologías de acceso dinámico y su uso compartido como instrumentos para potenciar el uso eficiente del espectro.....	34
Capítulo 3. Modelos de gestión para el uso eficiente del espectro	41
1. Aspectos Generales	41
2. Modelos de gestión del espectro	44
3. Modelos de gestión de espectro compartido	48
Capítulo 4. Tecnologías y Esquemas Regulatorios para la Compartición de Espectro	55
1. Introducción.....	55
2. Radio Cognitivo	56
3. Radio Definido por Software	59
3.1. Principales Estándares y Tecnologías para el Uso Compartido del Espectro	63
3.2. Técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)	64

3.3. Tecnologías de Acceso Licenciado Asistido (LAA).....	69
3.4. Sistemas Licenciados de Acceso compartido (LSA).....	76
3.5. Sistemas de Acceso al Espectro (SAS).....	82
3.6. Esquemas regulatorios para la asignación y uso flexible del Espectro	86
Capítulo 5. Alternativas regulatorias para implementar el uso flexible del Espectro Radioeléctrico en México	99
1. Obstáculos Regulatorios.....	101
2. Acciones en Curso.....	112
2.1. Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024.....	112
2.2. Estrategia IFT 2021 - 2025.....	114
3. Propuestas de Regulación.....	117
3.1. Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.....	117
3.2. Lineamientos Generales para el Uso Compartido de bandas de frecuencias 129	
3.3. Evaluación de la Conformidad y Disposiciones Técnicas	133
4. Consideraciones finales.....	134
Conclusiones.....	136
Bibliografía.....	142
ANEXOS	148
ANEXO 1. Muestra de países que han implementado acciones regulatorias relacionadas con el uso compartido de espectro	149
ANEXO 2. Resumen de Solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias para su concesionamiento para uso privado en marco de los PABF	155
Índice de términos.....	159

Índice de figuras

Figura 1. Representación gráfica del espectro electromagnético.....	14
Figura 2. Compartición espacio – ancho de banda	37
Figura 3. Compartición tiempo– ancho de banda.....	37
Figura 4. Compartición espacio – tiempo	38
Figura 5. Radio Cognitivo	57
Figura 6. Arreglos de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas.....	65
Figura 7. Manejo del espectro por parte de los sistemas SU-MIMO y MU-MIMO.....	65
Figura 8. Esquema de formación de haces con arreglos MIMO	68
Figura 9. Ejemplo de arreglo de antenas MIMO Masivo	69
Figura 10. Operación en modo de descarga suplementaria de la tecnología LAA	70
Figura 11. Uso del espectro libre por parte de LAA.....	71
Figura 12. Arquitectura de un sistema LSA.....	79
Figura 13. Concepto de TVWS.....	80
Figura 14. Esquema simplificado de operación de TVWS	81

Índice de gráficos

Gráfico 1. Evolución de suscripciones de servicios móviles.....	vii
Gráfico 2. Evolución de demanda de tráfico servicios de datos inalámbricos.....	viii
Gráfico 3. Categorías para la determinación del espectro	46
Gráfico 4. tecnologías de Radio definido por Software y Radio Cognitivo	61
Gráfico 5. Roles en un sistema LSA.....	78
Gráfico 6. Arquitectura de un sistema SAS	84
Gráfico 7. Compartición de la banda 3550-3700 MHz en Estados Unidos	85

Índice de cuadros

Cuadro 1. Bandas del Espectro Radioeléctrico	15
Cuadro 2. Requisitos para la Gestión del Espectro	20
Cuadro 3. Diferencia entre regímenes de gestión espectral del tipo “comando y control” y “Flexible”	45
Cuadro 4. Regímenes de compartición de espectro	50
Cuadro 5. Resumen de las capacidades y características técnicas de los sistemas de radio cognitivo.....	58
Cuadro 6. Comparativa de SU-MIMO y MU-MIMO	66
Cuadro 7. Tecnologías de detección de espectro de banda ancha	72
Cuadro 8. Evolución de la tecnología LAA	73
Cuadro 9. Tecnologías basadas en LAA	74
Cuadro 10. Comparativa de sistemas LSA y SAS.....	83
Cuadro 11. Bandas de frecuencias para su posible compartición.....	88
Cuadro 12. Línea de tiempo sobre desarrollo de regulación para compartición de espectro entre usuarios federales y no federales en Los Estados Unidos de América	93
Cuadro 13. Enfoques creativos para el uso del espectro.	100
Cuadro 14. Propuesta de modificación a la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión	119
Cuadro 15. Elementos a incorporar en Lineamientos para el Uso Compartido del Espectro	129

Siglas y abreviaturas

3GPP	Siglas en inglés de <i>3rd Generation Partnership Project</i> ; Proyecto Asociación de Tercera Generación.
5G	Del inglés <i>5th Generation</i> ; Quinta Generación
ADC	Convertidor Analógico-Digital
CBRS	Siglas en inglés de <i>Citizens Broadband Radio Service</i> ; Servicio de radio de banda ancha para ciudadanos
CCP.II	Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones de la CITEL
CEABAD	Centro de Estudios Avanzados en Banda Ancha para el Desarrollo.
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
DAC	Convertidor Digital- Analógico
DOF	Diario Oficial de la Federación
DSP	Siglas en inglés de <i>Digital Signal Processor</i> ; Procesador de Señales Digitales
EHF	Siglas en inglés de <i>Extra High Frequencies</i> ; Frecuencias Extra Altas
ETSI	Siglas en inglés de <i>European Telecommunications Standards Institute</i> ; Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
FCC	Siglas en inglés de <i>Federal Communications Commission</i> ; Comisión Federal de Comunicaciones
FGPA	Siglas en inglés de <i>Field Programmable Gate Array</i> ; Arreglo Lógico Programable en Campo
GAA	Siglas en inglés de <i>General Authorized Access</i> ; Acceso General Autorizado
GHz	Gigahertz
HF	Siglas en inglés de <i>High Frequencies</i> ; Frecuencias Altas

IEEE	Siglas en inglés de <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ; Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
IoT	Siglas en inglés de <i>Internet of Things</i> ; Internet de las Cosas
ISM	Siglas en inglés de <i>Industrial, Scientific & Medical</i> ; Industrial Científico y Médico
kHz	Kilohertz
km	Kilómetro
LAA	Siglas en inglés de <i>Licensed Authorized Access</i> ; Acceso Autorizado por Licencia
LBT	Siglas en inglés de <i>Listen Before Talk</i> ; Escuchar Antes de Hablar (transmitir)
LF	Siglas en inglés de <i>Low Frequencies</i> , Bajas Frecuencias
LFTR	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
LGBN	Ley General de Bienes Nacionales
LSA	Siglas en inglés de <i>Licensed Shared Access</i> ; Acceso Compartido por Licencia
LTE	Siglas en inglés de <i>Long Term Evolution</i> ; Evolución de Largo Plazo
LTE-U	Siglas en inglés de <i>Long Term Evolution Unlicensed</i> ; LTE sin licencia
LWA	Siglas en inglés de <i>LTE-WLAN Aggregation</i> ; Agregación de portadoras WLAN y LTE
MF	Siglas en inglés de <i>Medium Frequencies</i> ; Frecuencias Medias
MFCN	Siglas en inglés de <i>Mobile/Fixed Communications Networks</i> ; Redes de Telecomunicaciones Fijas / Móviles
MHz	Megahertz
MIMO	Siglas en inglés de <i>Multiple Inputs Multiple Outputs</i> ; Entradas y Salidas Múltiples
MU-MIMO	Siglas en inglés de <i>Multi User MIMO</i> ; MIMO de usuarios múltiples
NR	Siglas en inglés de <i>New Radio</i> ; Nueva interfaz de Radio de quinta generación
NR-U	Siglas en inglés de <i>New Radio Unlicensed</i> ; NR sin Licencia

OECD	Siglas en inglés de <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> ; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PABF	Programa Anual de Bandas de Frecuencias
PAL	Siglas en inglés de <i>Priority Access Licenses</i> ; Licencias de Acceso Prioritario
PC	Unidad de Procesamiento
PNER	Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico
Regulatel	Foro Latinoamericano de Entes Reguladores de Telecomunicaciones
RF	Radiofrecuencia
RFID	Identificación por Radiofrecuencia
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
SAS	Siglas en inglés de <i>Spectrum Access Systems</i> ; Sistemas de Acceso al Espectro
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SDR	Siglas en inglés de <i>Software Defined Radio</i> ; Radio Definido por Software
SHF	Siglas en inglés de <i>Super High Frequencies</i> ; Frecuencias Súper Altas
SISO	Siglas en Inglés de <i>Single Input Single Output</i> ; Entrada Única, Salida Única
SU-MIMO	Siglas en inglés de <i>Single User MIMO</i> ; MIMO de usuario único
TV	Televisión
TVWS	Siglas en inglés de <i>TV White Spaces</i> ; Espacios en blanco de Televisión
UER	Unidad de Espectro Radioeléctrico del IFT
UHF	Siglas en inglés de <i>Ultra High Frequencies</i> ; Frecuencias Ultra Altas
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VHF	Siglas en inglés de <i>Very High Frequencies</i> ; Frecuencias muy Altas
VLF	Siglas en inglés de <i>Very Low Frequencies</i> ; Frecuencias muy Bajas

WLAN

Siglas en inglés de *Wireless Local Access Network*; Red Inalámbrica de Acceso Local

Glosario

“A”

Administración

Autoridad regulatoria nacional, departamento o servicio gubernamental que es responsable de emitir normatividad y observar el cumplimiento dentro de su territorio. Generalmente, es el ente responsable del cumplimiento de las obligaciones ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones o ante otras Administraciones con las cuales tenga suscritos compromisos y acuerdos.

“B”

Base de datos

Recopilación de datos o información que esté especialmente organizada para una búsqueda y recuperación rápida por computadora. Las bases de datos están estructuradas para facilitar el almacenamiento, la recuperación, la modificación y la eliminación de datos junto con varias operaciones de procesamiento de datos. Un sistema de gestión de bases de datos extrae información de la base de datos en respuesta a consultas.

Big Data

Big data se refiere a los grandes y diversos conjuntos de información que crecen a un ritmo cada vez mayor. Abarca el volumen de información, la velocidad a la que se crea y recopila, y la variedad o alcance de los puntos de datos que se cubren (conocidos como las "tres v" del *big data*). Los macrodatos a menudo provienen de la minería de datos y llegan en múltiples formatos.

Bit Abreviación de *binary digit* (dígito binario). Mínima unidad binaria de información almacenada y/o procesada en algún sistema digital, la cual tiene dos posibles valores: “encendido” o “apagado” o bien “1” o “0”.

Bluetooth Tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance (del orden de 10 m) ampliamente utilizada para la conexión y comunicación entre dispositivos de redes de área local o área personal.

Byte Grupo de 8 bits utilizado como unidad lógica de información, equivalente a un carácter de texto, tal como una letra, un número o un signo, puede representar 256 valores, con valor entre 0 y 255.

“D”

DECT Siglas en inglés de *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*, Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente. Es un estándar de ETSI para comunicación inalámbrica de voz y datos, ampliamente utilizado en teléfonos inalámbricos digitales de propósitos domésticos o corporativos.

“E”

Erlang Erlang (E) es una unidad adimensional utilizada en sistemas de telecomunicaciones como una medida estadística del volumen de tráfico. Recibe el nombre del ingeniero danés A. K. Erlang, pionero de la teoría de colas. El tráfico de un Erlang corresponde a un recurso (circuito, canal, etc.) utilizado de forma continua, o dos recursos utilizados al 50%, y así sucesivamente. Por ejemplo, si una oficina tiene dos operadores de teléfonos y ambos están ocupados durante todo el tiempo, esto

representa 2 Erlangs de tráfico, o si un canal de radio está ocupado durante treinta minutos en una hora se dice que soporta un tráfico de 0.5 Erlangs¹.

**Espectro
electromagnético**

Arreglo ordenado de todas las longitudes de onda de las ondas electromagnéticas, las cuales asumen cualquier valor positivo, sin ninguna restricción, incluyendo las ondas de radio, radiación infrarroja, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X, rayos Gamma y los rayos cósmicos.

**Espectro
Radioeléctrico**

Subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de los 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

“G”

Geolocalización

Proceso de ubicar a un dispositivo en cualquier punto del planeta Tierra, generalmente a través de la utilización de sistemas satelitales de posicionamiento global (GPS) o en su caso, a través de tecnologías terrenales de radiodeterminación.

“H”

Hardware

Equipo o soporte físico o tangible, de un equipo o sistema, incluyendo los componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, cables, gabinetes y accesorios, así como cualquier elemento físico.

Hertz (Hz)

Unidad física usada para medir la frecuencia de ondas y vibraciones. Debe su nombre a su descubridor, H.R.

¹ Wikipedia. “Erlang (Unidad)”. 4 de agosto de 2022. Consultado el 09 de octubre de 2022 en: <https://es.wikipedia.org/wiki?curid=1315032>

Hertz. Un Hz equivale a un ciclo por segundo. El Hertz se usa comúnmente para medir frecuencias de ondas, como ondas de sonido, ondas de luz y ondas de radio.

“I”

Internet

Conjunto de redes interconectadas que utilizan el protocolo Internet, que les permite funcionar como una única y gran red virtual.

“M”

Middleware

Software que se sitúa entre un sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan en él. Básicamente, funciona como una capa de traducción oculta para permitir la comunicación y la administración de datos en aplicaciones distribuidas².

MulteFire

Tecnología basada en LTE y basada en 3GPP *Release* 13 y 14 que funciona de forma independiente en un espectro compartido y sin licencia, incluida la banda de 5 GHz.

“S”

Sandbox

Campo de pruebas para nuevas tecnologías y modelos de negocio que aún no están al amparo de alguna una regulación vigente, supervisados por las instituciones regulatorias.

² Course Hero. (2020). “Integración de un sistema de información con la Base de Datos. Taller de integración de Software Instituto IACC”. Recuperado el 09 de octubre de 2022, de <https://www.coursehero.com/file/65016558/IACC-Tarea8docx/>

Smartphone

término en inglés de “teléfono inteligente”. Se trata de un dispositivo móvil que combina las funciones de un teléfono celular y de una computadora de bolsillo. Una característica clave de un smartphone es que las aplicaciones adicionales pueden ser instaladas en el dispositivo. Las aplicaciones pueden ser desarrolladas por el fabricante del dispositivo, por el operador o por cualquier empresa desarrolladora de software.

Software

Conjunto de instrucciones o programas que instruyen a una computadora para que realice tareas específicas que se ejecutan en PC, teléfonos móviles, tabletas u otros dispositivos.

“W”**Wi-Fi**

familia de protocolos de red inalámbrica, basados en la familia de estándares IEEE 802.11, que se utilizan comúnmente para redes de área local de dispositivos y acceso a Internet, lo que permite que los dispositivos digitales cercanos intercambien datos por ondas de radio.

“Z”**Zigbee,**

Tecnología cuya especificación está basada en el estándar IEEE 802.15.4 para un conjunto de protocolos de comunicación de alto nivel que se utilizan para crear redes de área personal con radios digitales pequeñas de baja potencia, aplicadas en la automatización del hogar, la recopilación de datos de dispositivos médicos y otras aplicaciones de baja potencia y pocos requerimientos limitados de ancho de banda, diseñado para proyectos de pequeña escala que necesitan conexión inalámbrica, para la implementación de redes *ad hoc* inalámbricas de

baja potencia, baja velocidad de datos y proximidad cercana (es decir, área personal).

Objetivo

Abordar la problemática asociada al uso eficiente del espectro radioeléctrico y los mecanismos que fomentan su mejor aprovechamiento, con el fin de identificar alternativas para su mejor uso, así como algunas adecuaciones al marco regulatorio que podrían contribuir a facilitar la adopción de esquemas de uso compartido y acceso dinámico al espectro.

Resumen

En el presente trabajo se pretende establecer el caso del uso compartido y el acceso dinámico al espectro radioeléctrico como una de las principales alternativas para incrementar la eficiencia en el uso de este valioso recurso, estableciendo los conceptos básicos asociados al espectro radioeléctrico y la importancia de una apropiada gestión de este recurso; para lo cual, en el Capítulo 1, Panorama General de la Gestión del Espectro Radioeléctrico, se aporta un panorama general de la concepción técnica y jurídica del espectro radioeléctrico, tanto desde el punto de vista del marco normativo internacional aplicado a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, como desde la perspectiva del marco normativo nacional. Partiendo de ello, se da paso a los conceptos descritos en el Capítulo 2, Uso Eficiente del Espectro Radioeléctrico, abarcando los aspectos relativos a la planeación, asignación, uso y reorganización eficiente del espectro con la finalidad de maximizar el aprovechamiento de este recurso, así como preceptos del marco normativo nacional orientados a fomentar el uso eficiente del espectro radioeléctrico. Asimismo, en el Capítulo 2, se describe conceptualmente la forma en la cual el uso compartido del espectro se posibilita a través de la gestión de las “dimensiones” espacio – ancho de banda – tiempo, logrando así incrementar el uso eficiente del espectro.

Es así, que se abordan posteriormente los principales modelos de gestión para el uso eficiente del espectro radioeléctrico, en donde se describen las nociones principales sobre la gestión de este recurso, la importancia de la gestión espectral

como un elemento fundamental para asegurar su uso eficiente, representando los modelos clásicos aplicados para su gestión, así como la clasificación de la utilización de las frecuencias, y cómo es técnicamente factible mezclar varios de los atributos de dichas clasificaciones para habilitar esquemas de uso flexible del espectro aumentando su uso eficiente, mediante los esquemas de gestión espectral bajo modalidades de compartición y acceso dinámico. Todo esto, se aborda a detalle en el Capítulo 3.

Una vez establecido el concepto de uso eficiente del espectro y cómo los esquemas de uso compartido y acceso dinámico contribuyen al aumento en la eficiencia de la utilización de este recurso, en el Capítulo 4, Tecnologías y Esquemas Regulatorios para la Compartición de Espectro, se aborda el estado del arte de las tecnologías y estándares que aprovechan el acceso oportunista al espectro para ampliar la cantidad de servicios, usuarios o aplicaciones presentes en una banda de frecuencias. En este capítulo, se abordan las técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), las tecnologías de Acceso Licenciado Asistido (LAA), los sistemas licenciados de Acceso compartido (LSA) y de Acceso compartido al Espectro (SAS). Adicionalmente, se exploran los esquemas regulatorios que se han implementado en diversos países para habilitar este tipo de mecanismos de uso compartido y acceso dinámico al espectro y se mencionan algunas de las principales acciones que deben emprender los reguladores que deseen implementar con éxito este tipo de mecanismos.

En el Capítulo 5, Alternativas regulatorias para implementar el Uso Flexible del Espectro Radioeléctrico en México, se analiza la regulación nacional en materia de espectro radioeléctrico, identificando las barreras y lagunas regulatorias que persisten en el marco normativo y que impiden, o en su caso, entorpecen, la efectiva implementación de los mecanismos de uso compartido y acceso dinámico al espectro. Por otra parte, se describen los esfuerzos institucionales encaminados a estudiar la factibilidad de implementación de este tipo de soluciones a través de acciones tales como estudios, identificación de mecanismos de coexistencia, compartición y acceso dinámico del espectro radioeléctrico; análisis de esquemas

alternativos para la asignación del espectro de forma flexible y eficiente, entre otras acciones, principalmente contenidas en la “Estrategia IFT 2021-2025” incluida la hoja de ruta regulatoria contenida en dicha estrategia y en los programas de trabajo anuales del IFT.

Finalmente, partiendo del análisis realizado sobre los obstáculos regulatorios y considerando la agenda regulatoria del IFT, se proponen diversas adecuaciones al marco legal orientadas a fomentar el uso eficiente del espectro y la ampliación de la cobertura de servicios de telecomunicaciones a través de la implementación de los esquemas de uso compartido y acceso dinámico al espectro.

El potencial que representan las tecnologías de uso compartido y acceso dinámico al espectro radioeléctrico, en términos del aumento de la eficiencia en el uso de este recurso, pero también como una oportunidad de aumentar la conectividad en el país buscando maximizar el beneficio social derivado del aprovechamiento de este importante recurso, así como la oportunidad que representan estas tecnologías para fortalecer la competencia económica en los mercados de servicios de telecomunicaciones, habilitando un ecosistema más diverso de prestadores de servicios de telecomunicaciones en más zonas del país, puede contribuir de forma relevante a la disminución de la brecha de conectividad existente. De ahí la relevancia de continuar con los esfuerzos encaminados a facilitar y fomentar los mecanismos de uso compartido y acceso dinámico al espectro en nuestro país.

Metodología

Partiendo de las preguntas: ¿Cuáles son las tendencias internacionales recientes en materia tecnológica y regulatoria que contribuyen al uso eficiente del espectro? y ¿la regulación nacional es consistente con las mejores prácticas internacionales para propiciar el uso eficiente del espectro? Se desarrolló la metodología de estudio e investigación que derivó en los planteamientos que se proponen en el presente trabajo, que está basada en el método deductivo, iniciando con la concepción general del espectro radioeléctrico, el concepto de uso eficiente y la importancia de la gestión apropiada de este recurso; a partir de lo cual, se aportan los diversos elementos que pueden contribuir a mejorar la eficiencia en el uso del espectro, con énfasis en las tecnologías y mecanismos de uso compartido y acceso dinámico al espectro, detallando las diversas alternativas que en el ámbito internacional se han venido implementando para propiciar el uso eficiente del espectro mediante la utilización de este tipo de tecnologías, para finalmente, proponer una serie de medidas específicas de adecuación al marco normativo nacional, con las cuales, se habilitaría una regulación moderna compatible con las tecnologías y mecanismos de uso flexible del espectro en beneficio de la eficiencia en el uso de este recurso.

Marco Conceptual

Con el propósito de establecer la relevancia de los mecanismos de uso compartido y acceso dinámico como: (i) alternativa para atender la problemática asociada a la escasez del espectro radioeléctrico; (ii) respuesta a la creciente demanda por el acceso a este recurso; y (iii) estrategia para incrementar la eficiencia en su utilización; es necesario plantear los principales aspectos y definiciones que caracterizan el objeto de estudio del presente trabajo.

El Espectro Radioeléctrico.

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el espectro radioeléctrico se define como las ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial³. En otras palabras, el espectro radioeléctrico se compone por un conjunto de gamas de frecuencias bien delimitado, con las cuales se pueden llevar a cabo comunicaciones inalámbricas, mediante la utilización de las tecnologías y dispositivos apropiados para tal fin, los cuales son capaces de enviar mensajes (por ejemplo, de voz, texto, audio, datos, vídeo, etc.) llevando a cabo emisiones de energía ocupando una parte de las frecuencias del espectro radioeléctrico. Dichas emisiones, es posible recibirlas de manera remota por dispositivos con capacidad de captar la energía electromagnética proveniente de un transmisor y “traducir” dicha energía al mensaje o contenido originalmente enviado, posibilitando así el establecimiento de un circuito de comunicación, el cual puede ser unidireccional (por ejemplo, una señal de radio sonora FM) o bidireccional (como en el caso de una comunicación telefónica), según el tipo de tecnología y de servicio de que se trate.

La Gestión del Espectro Radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico, como recurso útil para la provisión de servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, incluidos servicios y aplicaciones tan relevantes como aquellos relacionados con la seguridad de la vida humana, tales como los servicios de radionavegación o las aplicaciones para la seguridad pública y la seguridad nacional; así como un medio eficaz para el ejercicio de diversos derechos humanos, ponen en relevancia la importancia de hacer una apropiada gestión de este recurso para asegurar el mejor uso posible del mismo.

³ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). “Reglamento de Radiocomunicaciones” p.RR1-1. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/09/02/14/23/Radio-Regulations-2020?sc_campaign=DD249A18F65340498C7674FA167CAC94

De conformidad con la UIT⁴, la gestión del espectro contempla estructuras, procedimientos y normas mediante los que se controla el uso del espectro radioeléctrico. Por lo que hace a la gestión del espectro radioeléctrico en México, esta corresponde por mandato constitucional al Instituto Federal de Telecomunicaciones y para ello, la LFTR establece una serie de principios que deben observarse en la administración del espectro, así como los objetivos que dicha administración debe perseguir. Según el Artículo 54 de la LFTR⁵, los objetivos generales asociados a la administración del espectro son:

- I. La seguridad de la vida;
- II. La promoción de la cohesión social, regional o territorial;
- III. La competencia efectiva en los mercados convergentes de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión;
- IV. El uso eficaz del espectro y su protección;
- V. La garantía del espectro necesario para los fines y funciones del Ejecutivo Federal;
- VI. La inversión eficiente en infraestructuras, la innovación y el desarrollo de la industria de productos y servicios convergentes;
- VII. El fomento de la neutralidad tecnológica, y
- VIII. El cumplimiento de lo dispuesto por los artículos 2o., 6o., 7o. y 28 de la Constitución

El Problema de la Escasez del Espectro Radioeléctrico.

Es importante señalar que, en años recientes, la demanda por el acceso al espectro se ha visto significativamente incrementada, esto impulsado primordialmente por la aparición de tecnologías y servicios que han sido desplegados a nivel mundial y que son intensivamente utilizados por una buena

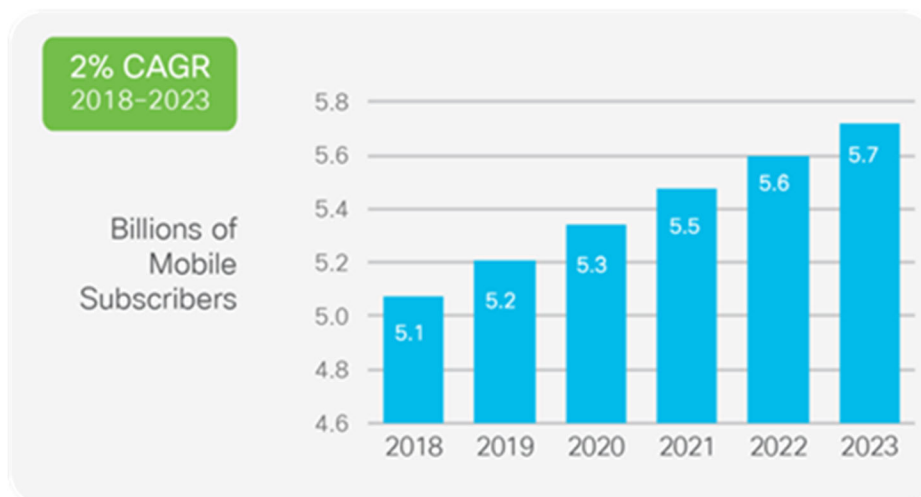
⁴ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). “Manual de Gestión Nacional del Espectro”. P. 3. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf

⁵ Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014). “Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión”. Consultada el día 17 de septiembre de 2020 en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

parte de la población. El ejemplo más visible de tal incremento en la demanda ha sido el caso de los servicios de acceso inalámbrico provistos por las redes del tipo celular, los cuales en poco tiempo pasaron de ser costosos servicios sólo de voz accesibles para unos cuantos, a servicios móviles de banda ancha utilizados por gran cantidad de usuarios.

De acuerdo con Cisco⁶, a nivel global la cantidad total de suscriptores móviles (aquellos que se suscriben a un servicio celular) crecerá de 5100 millones en 2018 a 5700 millones en 2023 a una tasa de crecimiento anual compuesta del 2 por ciento. Esto representa aproximadamente al 66% de la población mundial en 2018 y el 71% de la penetración de la población mundial en 2023.

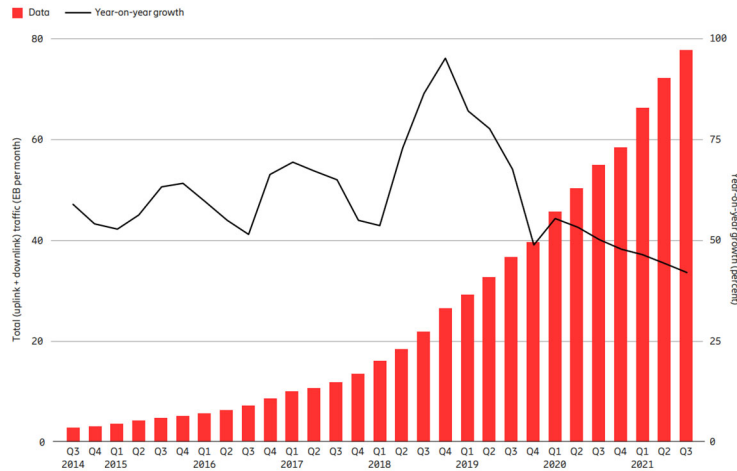
Gráfico 1. Evolución de suscripciones de servicios móviles



Fuente: Cisco

⁶ Cisco. “Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper”. (2020). Consultado el 22 de mayo de 2022 en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

Gráfico 2. Evolución de demanda de tráfico servicios de datos inalámbricos



Fuente: Cisco

Este incremento en la demanda, está directamente relacionado con el incremento en el grado del uso del espectro radioeléctrico, toda vez que, cada estación que proporciona estos servicios y cada dispositivo de usuario demandan el acceso a recursos de espectro para establecer las comunicaciones, lo cual debe hacerse sin que exista interferencia entre estos para garantizar un enlace de calidad. Esto implica, en principio, que el canal de frecuencias que está siendo utilizado en determinado momento en una zona específica por un dispositivo, no debe ser utilizado por otro dispositivo ajeno a la comunicación para evitar una perturbación indeseable, o interferencia perjudicial, a la comunicación que en ese momento ocurre.

En consecuencia, y dado que las gamas de frecuencias aprovechables para realizar comunicaciones están delimitadas, asociado esto a un incremento sostenido en el tráfico conducido por las redes, resulta en que se dificulte el atender satisfactoriamente la demanda por el acceso al recurso espectral, lo que conduce a fenómenos de escasez de espectro, por lo cual deben tomarse decisiones inteligentes en cuanto a su gestión para atajar esta problemática de la mejor forma posible.

Parte de las estrategias de la gestión del espectro radioeléctrico, pasan por tener un plan específico de acciones de corto, mediano y largo plazo para asegurar el uso óptimo del espectro, en consonancia con la evolución de las tecnologías, el desarrollo de los mercados de servicios de telecomunicaciones y radiodifusión y con los fines de política pública que se persigan objetivos de cobertura universal, conectividad, de competencia económica, desarrollo económico y social, entre otros.

Tales estrategias, comprenden la identificación de bandas de frecuencias para su asignación a determinados servicios, el reordenamiento del espectro, el diseño de mecanismos para la asignación eficiente del recurso (como las subastas, por ejemplo), mecanismos de vigilancia y sanción, implementación de normas técnicas para evitar interferencias perjudiciales, entre otros aspectos; que en su conjunto propician un uso racional y eficiente del espectro radioeléctrico.

Sin embargo, existen situaciones en las cuales los mecanismos antes descritos resultan insuficientes para colmar la demanda por más espectro: una vez que ha sido asignado todo el espectro disponible para un determinado servicio en alguna zona, es poco probable que un nuevo entrante pueda acceder a recursos de espectro para ofrecer servicios, dado que las concesiones suelen ser otorgadas por periodos prolongados o incluso, en algunos países, de manera perpetua; lo que inhibe el florecimiento de nuevos competidores, posibles modelos de negocio innovadores o la introducción de nuevas tecnologías.

Asimismo, el poner a disposición nuevas bandas de frecuencias, puede tomar muchos años y diversas dificultades, dados los múltiples factores que influyen en ello, tales como el obtener acuerdos internacionales⁷ para adoptar nuevas bandas de frecuencias para algún servicio, la necesidad de reorganizar ciertas bandas de

⁷ Las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones de la UIT, celebradas cada tres o cuatro años son el foro en el cual a nivel regional o global se adoptan modificaciones a las normas internacionales para el uso del espectro, incluyendo la identificación de bandas de frecuencias adicionales para determinados servicios, a partir de lo cual se lleva a cabo el diseño de estándares de tecnologías que serán la base para la fabricación de los dispositivos que harán uso de las nuevas frecuencias identificadas. Este ciclo puede tomar entre 10 a 15 años, en promedio para que las tecnologías en las nuevas bandas sean efectivamente adoptadas en el mercado.

espectro, desplazando a los antiguos usuarios para habilitar nuevos usos (como ocurrió por ejemplo en el caso de México con la Política para la Transición a la TDT⁸ o la reorganización de la banda de 800 MHz⁹), el tiempo para el desarrollo y penetración de tecnologías o incluso, factores de tipo económico, como el costo del espectro que imponen los gobiernos por su asignación y uso a través de subastas o cuotas anuales de derechos, como una política recaudatoria del Estado.

Alternativas para Atender la Escasez del Espectro Radioeléctrico.

Ante las múltiples adversidades descritas para facilitar el acceso al espectro, han surgido propuestas encaminadas a disminuir o sortear las barreras de acceso a este recurso. Entre las más recientes e innovadoras, se encuentran los mecanismos de uso compartido y acceso dinámico al espectro, que pueden definirse, de acuerdo al cuerpo de reguladores europeos, BEREC, como “el uso simultáneo de una banda de radiofrecuencia específica en un área geográfica específica por parte de varias entidades independientes, aprovechadas a través de mecanismos distintos a las técnicas tradicionales de acceso múltiple y aleatorio”.¹⁰

La compartición de espectro consiste en el uso de frecuencias de manera simultánea entre usuarios de diversa índole, coexistiendo de forma cooperativa y/o jerárquica, operando sin que se generen problemas de interferencias perjudiciales entre ellos.

⁸ Diario Oficial de la Federación. “Política Para la Transición a la Televisión Digital Terrestre”. Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2014). Consultado el 22 de mayo de 2022 en: <http://www.ift.org.mx/sites/all/themes/bootstrap/templates/ift-umca/files/pdfs/tdt/cndofpift030914259.pdf>

⁹ Diario Oficial de la Federación. (2016). “Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba el Plan de la Banda 806-824/851-869 MHz y aprueba la propuesta de cambio de bandas de frecuencias a las personas físicas o morales, que sean titulares de derechos sobre el uso, aprovechamiento y explotación de la Banda de Frecuencias 806-824/851-869 MHz.” Instituto Federal de Telecomunicaciones. Consultado el 22 de mayo de 2022 en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5452357&fecha=13/09/2016

¹⁰BEREC/RSPG, Radio Spectrum Policy Group. (2011). “Joint BEREC/RSPG Report on Infrastructure and spectrum sharing in mobile/wireless networks,”. Consultado el 22 de mayo de 2022 en: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/224-berec-rspg-report-on-infrastructure-and-spectrum-sharing-in-mobilewireless-networks

Estos mecanismos otorgan la posibilidad de habilitar “capas” adicionales de servicios o usuarios en bandas de frecuencias que eran usadas por un solo tipo de servicio, gracias a tecnologías y esquemas de uso que, por una parte, garantizan la operación y continuidad de los servicios previamente existentes, al mismo tiempo que proporcionan el acceso a otros usuarios, coordinando las emisiones de forma tal que se evitan interferencias perjudiciales.

Sin embargo, debido a su propuesta disruptiva respecto a los esquemas tradicionales de gestión del espectro radioeléctrico, es frecuente que los mecanismos de uso compartido y acceso dinámico no encuentren un entorno regulatorio apto para que operen de forma óptima, lo que obliga a realizar una revisión del entramado regulatorio nacional a efecto de que se facilite su implementación y se logre el aprovechamiento de los beneficios que ofrecen, por lo que se estima oportuno y necesario abordar el estudio del tema, identificar qué barreras existen en el país para su adopción y llevar a cabo las propuestas de adecuación al marco regulatorio para habilitar estos mecanismos.

Introducción

Tradicionalmente, las asignaciones de espectro otorgadas bajo algún tipo de título habilitante, otorgan derechos para el uso del espectro por determinado plazo, cobertura y ancho de banda; entre otras condiciones, con el objetivo desde el punto de vista técnico, de asegurar que no existan interferencias perjudiciales entre los servicios y de esa forma asegurar la prestación de los mismos en condiciones aceptables de calidad.

Generalmente, esta modalidad de otorgamiento, en los hechos, consiste en proporcionar derechos exclusivos por el uso del espectro, permitiendo así el garantizar la protección contra interferencias perjudiciales por parte de terceros, dado que, en el pasado, prácticamente no existía otra forma de evitar tales interferencias.

Sin embargo, el avance tecnológico ha aportado soluciones innovadoras para hacer posible que en una misma banda de frecuencias puedan coexistir servicios o usuarios distintos sin problemas de interferencias perjudiciales, con reglas técnicas bien predefinidas. Bajo dichas reglas, es posible compartir el espectro por distintos servicios o usuarios en una o varias “dimensiones”, tales como el tiempo de transmisión, el espacio geográfico en el cual se encuentran presentes las señales, o el ancho de banda ocupado.

Desde el punto de vista de la tecnología, han surgido diversos métodos para habilitar el acceso al espectro de forma compartida, lo cual debe ir acompañado de la correspondiente regulación para dotar de certidumbre a los que concurren en dichos esquemas y se garantice la prevalencia del dominio del Estado sobre la administración del espectro radioeléctrico.

Los primeros escenarios de uso compartido del espectro podemos observarlos en la disposición de las bandas de frecuencias para aplicaciones industriales, científicas y médicas (bandas ISM), donde además de las aplicaciones antes citadas, concurren también aplicaciones de telecomunicaciones, las cuales son utilizadas bajo la regla general de no producir interferencias a otros servicios

autorizados y a no causar interferencias perjudiciales a otros servicios. La operación en estas bandas, entre las que se encuentran los segmentos 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz y diversos segmentos en la banda de 5 GHz, está sujeta a condiciones de técnicas de operación que buscan mitigar las interferencias entre diferentes tipos de usuarios. Estas bandas, entre otras, en México han sido clasificadas como espectro libre, por lo que no se requiere de concesión, autorización ni registro para su utilización, bastando tan solo sujetarse a las condiciones técnicas de operación aplicables, consistentes principalmente en establecer límites de potencia radiada y/o de densidad de flujo de potencia, entre otras condiciones de operación.

Sin embargo, si bien la utilización de frecuencias bajo la modalidad de uso libre permite la concurrencia de múltiples usuarios y tecnologías sin necesidad de la obtención previa de una concesión o autorización y es donde han florecido múltiples tecnologías que se han beneficiado de este régimen para acceder al espectro, este tipo de esquema de acceso al espectro representa algunas desventajas para proporcionar servicios de mejor calidad, ya que, debido a que no existe una figura de autorización o registro de los usuarios, que en algunas de estas bandas existen emisiones ISM distintas a las de los dispositivos de telecomunicaciones, además de que es común que distintas tecnologías y aplicaciones transmitiendo en una misma banda no convivan eficientemente; es frecuente que ocurran fenómenos de saturación de usuarios en las bandas, interferencias entre distintas tecnologías, o usuarios que no observan las condiciones de operación de las emisiones, en perjuicio del eficiente aprovechamiento del espectro destinado al uso libre.

Debido a lo anterior, pero sobre todo, por la cada vez más apremiante necesidad de asegurar el uso más eficiente posible del espectro radioeléctrico y atender la creciente demanda por servicios inalámbricos, han surgido modelos de acceso a recursos espectrales de forma tal que, por un lado, se continúa dando protección a los servicios de operadores históricos o de mayor prioridad (como los de misión crítica, por ejemplo), salvaguardando la continuidad de estos servicios en las mismas condiciones que cuando fueron otorgados; mientras que, por otro lado,

se brindan reglas claras para que otros demandantes de recursos espectrales puedan acceder a él de una forma ordenada y que les dé un mayor grado de certeza respecto a qué frecuencias operar, en qué lugares y durante cuánto tiempo, protegiendo en todo momento a los servicios de mayor prioridad.

Este tipo de esquemas de acceso al espectro son asociados generalmente con los términos “uso o acceso compartido”, “uso flexible”, “acceso oportunista”, “acceso colaborativo” o “acceso dinámico”, dependiendo de la literatura que se consulte al respecto.

Las técnicas más usuales para posibilitar el uso compartido del espectro de manera dinámica son las siguientes¹¹:

- Técnicas de percepción (*sensing*): Los dispositivos activan sus receptores escaneando o “escuchando” el entorno radioeléctrico para identificar qué canales pueden estar disponibles, tomando en consideración criterios de ancho de banda, tiempo disponibilidad de canal o grado de interferencia en el canal, para determinar si uno o varios canales son susceptibles de utilizarse durante determinado periodo de tiempo.
- Acceso administrado: esta técnica consiste en un modo de acceso en el cual existe un sistema intermedio desde el cual se establecen las reglas y condiciones para acceder a determinados canales, el cual considera la información técnica de los sistemas existentes que gozan de mayor prioridad y que han de ser tomados en cuenta por los dispositivos de menor prioridad antes de realizar sus emisiones. Este tipo de técnica involucra el constante acceso y consulta a bases de datos técnicas y motores de cálculo, para determinar de forma dinámica los canales y parámetros de operación que podrán utilizar los dispositivos de menor prioridad a efecto de garantizar que su operación no afecte a las operaciones de los sistemas de mayor prioridad.

¹¹ Tehrani, R., Vahid, S., Triantafyllopoulou, D., Lee, H., & Moessner, K. (2016). “*Licensed Spectrum Sharing Schemes for Mobile Operators: A Survey and Outlook*”. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 4, (págs. 2591-2623). doi:10.1109/COMST.2016.2583499

- Técnicas de espectro disperso o por salto de frecuencia: este tipo de acceso al espectro consiste en la transmisión de una portadora que ocupa un gran ancho de banda, pero a un nivel de energía muy bajo, o en su caso, distribuyendo la energía transmitida en múltiples portadoras dentro del ancho de banda de operación bajo una secuencia y un tiempo de ocupación específicos, lo cual es conocido por el receptor lo que permite la adecuada recepción de la información.

En adición a estas técnicas, se prevé que en el futuro cercano surjan nuevos modelos de compartición de espectro apoyados en herramientas como la Inteligencia Artificial, el *Big Data* y el cómputo en la nube, lo que implicará el surgimiento de nuevos paradigmas en la administración del espectro radioeléctrico.

Gracias a estas técnicas, entre otras, es técnicamente posible la convivencia sin interferencias perjudiciales entre las tecnologías de uso compartido y otros servicios, bajo políticas que definen qué servicios tienen prioridad de acceso sobre otros, qué “dimensiones” se comparten entre ellos, y cómo: ya sea en tiempo, en ancho de banda o en espacio, partiendo de la premisa que se trata de redes independientes una de otra y que pueden proporcionar servicios similares o distintos (*i.e.* fijo-fijo o radiodifusión-acceso inalámbrico) así como el hecho de que no es posible que compartan de forma simultánea todas las “dimensiones” mencionadas sin la utilización de otras técnicas avanzadas como pudiera ser la separación por código, por ejemplo.

Para el caso de México, el Instituto Federal de Telecomunicaciones publicó en el año 2018 el estudio “Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro¹²”, en el que se identificó el estado del arte en materia de tecnologías de uso compartido y acceso dinámico al espectro (en adelante “el Estudio”), en el cual una vez abordadas las principales tecnologías y la forma en la cual éstas acceden

¹² Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). “*Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro*”. Consultado el 22 de mayo de 2022 en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/tecnologiasdeaccesodinamicoyusocompartidodelespectro_0.pdf

al espectro, se incorporan una serie de recomendaciones a efecto de adecuar la regulación para fomentar la apropiación de las tecnologías de uso compartido y acceso dinámico al espectro, a través de la flexibilización de la regulación en materia de espectro radioeléctrico incluidos aspectos del marco legal, planeación de espectro, regulación técnica y régimen de concesiones y autorizaciones.

Entre los hallazgos del estudio, se encuentra que el marco regulatorio actual de México no contempla explícitamente la utilización del espectro a través de mecanismos de uso compartido y acceso dinámico, por lo que la implementación de este tipo de mecanismos es en extremo limitada en el país, sobre todo tratándose de modelos de uso dinámico; dado que, de acuerdo con la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR), las bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas **a través de concesiones** para uso comercial, social, privado y público para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, son las clasificadas como espectro determinado (fr. I Art. 55); mientras que, en el otro extremo, la LFTR clasifica el Espectro Libre como aquel constituido por bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el IFT, **sin necesidad de concesión o autorización** (fr. II Art. 55).

Como puede observarse, la LFTR no contempla un esquema intermedio en el cual una banda de frecuencias de espectro determinado, es decir, que esté dentro del régimen de concesiones, pueda simultáneamente tener atributos correspondientes al uso libre, en el sentido de poder usar una banda, o partes de la misma sin necesidad de concesión, siempre y cuando se observen los lineamientos o especificaciones que establezca el IFT para tal propósito, lo cual podría incluir esquemas de uso libre, licenciamiento ligero, obligaciones de registro de operaciones o autorización expresa de dicho Instituto para el despliegue de redes, o bien a través de la observancia de condiciones técnicas de operación específicas, entre otros instrumentos.

En tal sentido, la LFTR es omisa respecto a esta posibilidad: contar con un régimen controlado de acceso al espectro, como hasta el día de hoy se ha realizado

a través del régimen de concesiones, pero que simultáneamente se puedan habilitar usos alternativos y flexibles del espectro que propicien un uso más eficiente de los recursos espectrales, al posibilitar que se brinden otros servicios por parte de otros actores compartiendo con el titular de una concesión, el derecho de utilizar en determinado tiempo, área o ancho de banda, el espectro radioeléctrico asignado. No obstante, es menester resaltar que la LFTR tampoco prohíbe expresamente la aplicación simultánea de dos o más modalidades de clasificación del espectro para una misma banda de frecuencias.

Cabe destacar, que la posibilidad de compartición del espectro es dependiente de diversos factores, tales como el tipo de servicios que estén involucrados en una banda determinada, la cantidad de transmisores desplegados, la relevancia de los servicios de que se trate, las obligaciones en materia de calidad, continuidad y cobertura de los servicios, y, evidentemente, que exista tecnología desarrollada y disponible en el mercado para la implementación de un determinado esquema de uso compartido y acceso dinámico al espectro.

Por ello, si bien regulatoriamente es recomendable identificar los mecanismos regulatorios para habilitar el uso compartido del espectro, esto como un principio general de la regulación nacional y gestión del espectro, es indispensable que esto se acompañe de las correspondientes adecuaciones al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias según se requiera para habilitar nuevos servicios, así como una o más disposiciones administrativas de carácter general, en formas tales como lineamientos, reglas o disposiciones técnicas, que detallen los métodos, procedimientos, estándares, parámetros de operación, calidad (en su caso), limitaciones, excepciones, y demás detalles técnico-regulatorios que garanticen la convivencia sin interferencias en las bandas y servicios en los cuales eventualmente el Instituto habilite el uso compartido del espectro, los cuales en gran medida dependen de la banda de frecuencias, los servicios involucrados y las tecnologías o estándares que se pretendan introducir.

En el presente trabajo se aborda la problemática antes descrita, desde el punto de vista técnico y regulatorio, así como el potencial que este tipo de tecnología

y modos de acceso al espectro puede representar para la competencia en el sector de las telecomunicaciones en México, a partir de lo cual, se propone la adecuación del marco normativo nacional de forma tal que se habilite y fomente un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, un ecosistema más plural y diverso de prestadores de servicios de telecomunicaciones en más zonas o regiones del país que contribuya a la disminución de la brecha de conectividad existente.



Capítulo 1.
**Panorama General de la Gestión
del Espectro Radioeléctrico**

Capítulo 1. Panorama General de la Gestión del Espectro Radioeléctrico

1. Aspectos Jurídicos del Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico cuenta con, al menos, dos acepciones en su definición, una técnica y una regulatoria o jurídica. La definición técnica del espectro radioeléctrico que generalmente es más aceptada a nivel internacional, es la que la Unión internacional de Telecomunicaciones (UIT) incorpora en el artículo 1.5 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), el cual establece en su Capítulo 1. “Términos y definiciones”, Sección I – “Términos Generales”¹³ lo siguiente:

“1.5 ondas radioeléctricas u ondas hertzianas: Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3 000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial.”

Lo anterior, guarda consistencia con la definición de espectro radioeléctrico contenida en la fracción XXI del Artículo 3 de la LFTR¹⁴:

XXI. Espectro radioeléctrico: Espacio que permite la propagación, sin guía artificial, de ondas electromagnéticas cuyas bandas de frecuencias se fijan convencionalmente por debajo de los 3,000 gigahertz;

Por otro lado, en la Constitución de la UIT, que junto con la Convención es uno de los instrumentos fundamentales de la Unión, indica en el numeral 2 del Artículo 44¹⁵ lo siguiente:

¹³ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). “Reglamento de Radiocomunicaciones” p.RR1-1. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en:

https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/09/02/14/23/Radio-Regulations-2020?sc_camp=DD249A18F65340498C7674FA167CAC94

¹⁴ Diario Oficial de la Federación (DOF). Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. (2014, 14 de julio). Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

¹⁵ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2019). “Colección de textos Básicos Adoptados por la Conferencia Plenipotenciaria”. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en:

<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/5.22.61.en.100.pdf>

“En la utilización de bandas de frecuencias para los servicios de radiocomunicaciones, los Estados Miembros tendrán en cuenta que las frecuencias y las órbitas asociadas, incluida la órbita de los satélites geoestacionarios, son recursos naturales limitados que deben utilizarse de forma racional, eficaz y económica, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones, para permitir el acceso equitativo a esas órbitas y a esas frecuencias a los diferentes países o grupos de países, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de determinados países.”

De lo anterior, destaca el hecho de que, a nivel internacional, el espectro radioeléctrico es considerado un recurso natural limitado, lo que conduce a que este sea tratado en nuestro país como un bien del dominio de la Nación, por lo que le corresponde al Estado su gestión y administración.

En este tenor, el Artículo 27 Constitucional¹⁶ establece que “corresponde a la Nación el dominio directo de todos los recursos naturales”, entre los que se encuentra el “espacio situado sobre el territorio nacional”, al que pertenece el espectro radioeléctrico, según se indicó anteriormente en la definición de la LFTR. Asimismo, el Artículo 27 Constitucional establece que “dicho dominio es inalienable e imprescriptible, y su uso, aprovechamiento o explotación por los particulares podrá realizarse mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes correspondientes, salvo en radiodifusión y telecomunicaciones, que serán otorgadas por el Instituto Federal de Telecomunicaciones.”

Por otra parte, la Ley General de Bienes Nacionales (LGBN), reglamentaria del Artículo 27 Constitucional, en su Artículo 3 fracción I establece que los bienes nacionales son “los señalados en los artículos 27, párrafos cuarto, quinto y octavo; 42, fracción IV, y 132 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”.

¹⁶ Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación (DOF). 5 de febrero de 1917, última reforma publicada en el DOF el 8 de mayo de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_080520.pdf

Asimismo, la fracción II del mismo artículo, señala que los bienes de uso común están referidos en el artículo 7 de la misma Ley, en cuya fracción I, considera al “espacio aéreo situado sobre el territorio nacional, con la extensión y modalidades que establezca el derecho internacional” como uno de estos bienes.¹⁷

Ahora bien, respecto a la vinculación entre el concepto del bien nacional “espacio aéreo” contemplado por la Constitución Mexicana y la LGBN, y el concepto de “espectro radioeléctrico”, el Pleno de la Suprema Corte de Justicia de la Nación, derivado de la Acción de Inconstitucionalidad 26/2006, concluyó que el espectro radioeléctrico forma parte del espacio aéreo, el cual constituye un bien nacional de uso común sujeto al régimen de dominio público de la Federación, según consta en la tesis de jurisprudencia Tesis: P./J. 65/2007, la cual se cita a continuación:

“ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. FORMA PARTE DEL ESPACIO AÉREO, QUE CONSTITUYE UN BIEN NACIONAL DE USO COMÚN SUJETO AL RÉGIMEN DE DOMINIO PÚBLICO DE LA FEDERACIÓN, PARA CUYO APROVECHAMIENTO ESPECIAL SE REQUIERE CONCESIÓN, AUTORIZACIÓN O PERMISO. La Sección Primera, Apartado 1-5, del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, define a las ondas radioeléctricas u ondas hertzianas como las ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de los 3,000 giga Hertz y que se propagan por el espacio sin guía artificial. Por su parte, el artículo 3o., fracción II, de la Ley Federal de Telecomunicaciones define al espectro radioeléctrico como el espacio que permite la propagación sin guía artificial de ondas electromagnéticas cuyas bandas de frecuencia se fijan convencionalmente por debajo de los 3,000 giga Hertz. En ese tenor, si se relaciona el concepto de ondas radioeléctricas definido por el derecho internacional con el del espectro radioeléctrico que define la Ley Federal de Telecomunicaciones, se concluye que este último forma parte del espacio aéreo situado sobre el territorio nacional, sobre el que la Nación ejerce dominio directo en

¹⁷ Ley General de Bienes Nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF) del 20 de mayo de 2001. Última reforma publicada en el DOF el 19 de enero de 2018. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_190118.pdf

la extensión y términos que fije el derecho internacional conforme al artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Por tanto, el espectro radioeléctrico constituye un bien de uso común que, como tal, en términos de la Ley General de Bienes Nacionales, está sujeto al régimen de dominio público de la Federación, pudiendo hacer uso de él todos los habitantes de la República Mexicana con las restricciones establecidas en las leyes y reglamentos administrativos aplicables, pero para su aprovechamiento especial se requiere concesión, autorización o permiso otorgados conforme a las condiciones y requisitos legalmente establecidos, los que no crean derechos reales, pues sólo otorgan frente a la administración y sin perjuicio de terceros, el derecho al uso, aprovechamiento o explotación conforme a las leyes y al título correspondiente.”¹⁸

En conclusión, en términos de la legislación nacional resulta claro y evidente que la rectoría del espectro radioeléctrico le corresponde al Estado, por lo cual le corresponde originariamente su gestión y administración, incluyendo el otorgamiento de concesiones para el aprovechamiento uso y explotación de este bien, establecer el control de las emisiones radioeléctricas para evitar interferencias, así como la emisión del marco reglamentario técnico y administrativo.

A mayor abundamiento, en el caso específico de México en la CPEUM se ha conferido la responsabilidad y atribuciones en materia de gestión y administración del espectro radioeléctrico al Instituto Federal de Telecomunicaciones, esto como resultado de la Reforma Constitucional del 2013, cuyo Artículo 28, párrafo décimo quinto adicionado, estableció:

“El Instituto Federal de Telecomunicaciones es un órgano autónomo, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tiene por objeto el desarrollo eficiente de la radiodifusión y las telecomunicaciones, conforme a lo dispuesto en esta Constitución y en los términos que fijen las leyes. Para tal efecto, tendrá a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del

¹⁸ Suprema Corte de Justicia de la Nación. (2007). “Semanario Judicial de la Federación y su Gaceta”. Tomo XXIV. Pág. 987. consultado el 17 de septiembre de 2020 en: <https://cutt.ly/7f4y10z>

espectro radioeléctrico, las redes y la prestación de los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, así como del acceso a infraestructura activa, pasiva y otros insumos esenciales, garantizando lo establecido en los artículos 6o. y 7o. de esta Constitución.”¹⁹

Para el cumplimiento de los mandatos y principios constitucionales en la materia, en la LFTR se incorporaron y especificaron las atribuciones necesarias al Instituto para llevar a cabo la gestión y administración del espectro, de conformidad con las prácticas internacionales en la materia.

2. Naturaleza Técnica del Espectro Radioeléctrico

En términos de la física, gracias a los trabajos de Michael Faraday, James Clerk Maxwell (1831–1879) y Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894), realizados en el s.XVIII, se sentaron las bases para la comprensión de los fenómenos del electromagnetismo y la transmisión de energía a través del espacio, dando lugar a una nueva rama de la física denominada “Teoría Electromagnética”. La teoría electromagnética se condensa principalmente en cuatro ecuaciones vectoriales que relacionan al campo magnético y el campo eléctrico con las fuentes que los generan (electricidad, polarización eléctrica y polarización magnética). Esto es conocido como la Teoría de Maxwell, que data de 1861²⁰:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

¹⁹ DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. Diario Oficial de la Federación del 11 de junio de 2013. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301941&fecha=11/06/2013

²⁰ Seybold John S. (2005). “Introduction to RF Propagation”. pp. 20-22. Ed. Willey

El espectro radioeléctrico, forma parte de la gama de frecuencias que constituyen el espectro electromagnético, el cual abarca desde la radiación infrarroja, hasta los rayos cósmicos, pasando por la luz visible:

Figura 1. Representación gráfica del espectro electromagnético

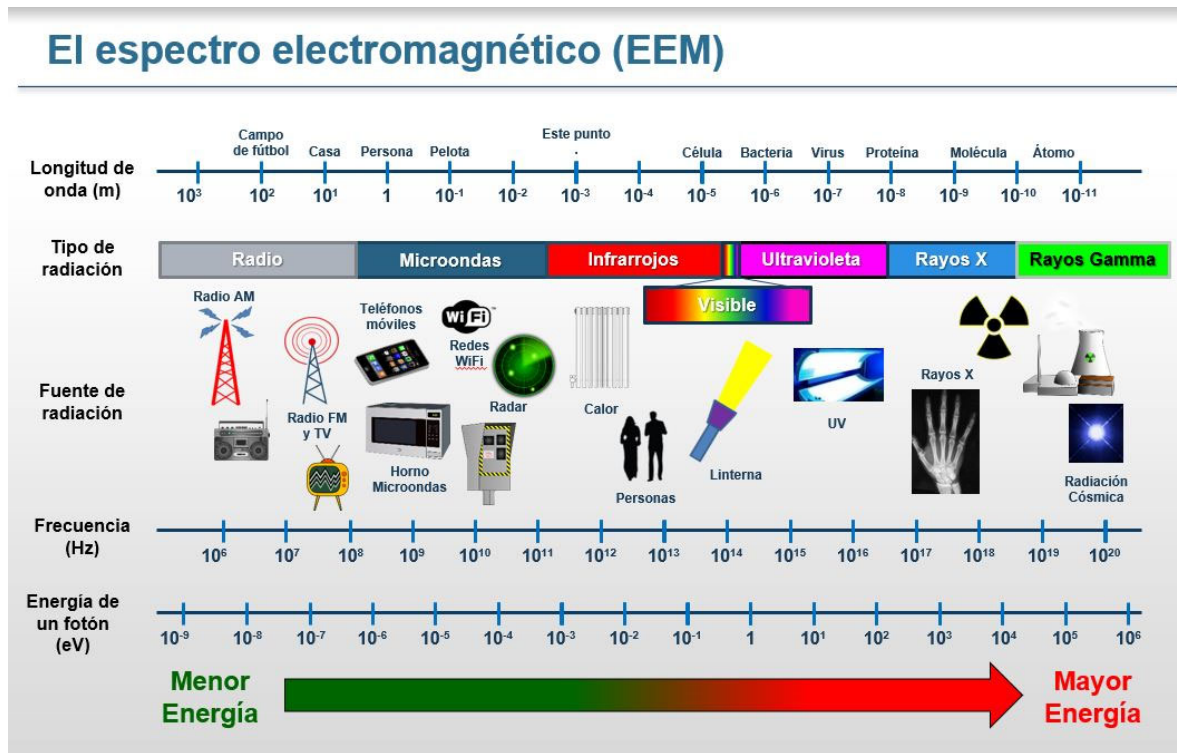


Imagen tomada de: <https://maldita.es/uploads/public/eem.jpg>

Como puede apreciarse, existe una amplia gama de frecuencias del espectro electromagnético, cuyas longitudes de onda van disminuyendo a medida que la frecuencia aumenta, de manera inversamente proporcional. Dentro de esta gama de radiaciones, se encuentra la porción del espectro radioeléctrico, la cual generalmente se ubica entre los 3 kHz y los 3000 GHz y que resulta útil para llevar a cabo la transmisión y recepción de información a través de los dispositivos adecuados para tal propósito; lo que se constituye como un fenómeno de radiocomunicación entendida esta como “toda telecomunicación transmitida por ondas radioeléctricas”, de acuerdo con el artículo 1.6 del RR y con la fracción LIII del artículo 3 de la LFTR.

A su vez, el espectro radioeléctrico se subdivide en bandas de frecuencias, lo que permite una mejor identificación de los segmentos que se utilizan para

múltiples servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión, bajo las siguientes denominaciones:

Cuadro 1. Bandas del Espectro Radioeléctrico²¹

Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas
6	MF	300 a 3 000 kHz	Ondas hectométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas
9	UHF	300 a 3 000 MHz	Ondas decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 a 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas

NOTA 1: La «banda N» (N = número de la banda) se extiende de $0,3 \times 10^N$ Hz a 3×10^N Hz.

NOTA 2: Prefijos: k = kilo (10^3), M = mega (10^6), G = giga (10^9).

Dentro de esta gama de frecuencias, es técnicamente posible llevar a cabo comunicaciones de la más diversa índole, a través de múltiples clases de tecnologías, dispositivos y formas de utilización de las frecuencias, lo que obliga a contar con un marco técnico, administrativo y jurídico que permita una adecuada gestión espectral.

3. Gestión del Espectro Radioeléctrico

La gestión del espectro radioeléctrico, de acuerdo con el Manual de la Gestión del Espectro de la UIT, consiste en:

²¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). “Reglamento de Radiocomunicaciones” p.RR2-1. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/09/02/14/23/Radio-Regulations-2020?sc_campaign=DD249A18F65340498C7674FA167CAC94

“las estructuras, procedimientos y normas mediante los que una administración controla la utilización del espectro radioeléctrico dentro de su territorio. Por acuerdo internacional, cada gobierno cuenta con la flexibilidad y autonomía necesarias para la reglamentación de su propio uso del espectro radioeléctrico. Cada administración debe desarrollar sus leyes y la organización necesaria para llevar a cabo las tareas propias de la gestión del espectro. La gestión eficaz del recurso espectral abarca directrices principales que definan las responsabilidades del organismo nacional. Este organismo regula la utilización del espectro y los procesos relacionados. Aunque tal vez no haya dos administraciones que gestionen el espectro exactamente de la misma forma, hay procesos básicos que son esenciales en todos los planteamientos nacionales.”²²

De lo anterior, se destaca que cada país cuenta con un marco normativo y técnico propio, acompañado de un arreglo institucional que permite la gestión y regulación del espectro radioeléctrico de forma tal que de forma soberana plantea y dirige las políticas y directrices encaminadas a lograr la utilización eficaz de este recurso.

Asimismo, es importante señalar que en la gestión del espectro radioeléctrico, debe ponerse especial atención en los aspectos relativos a la normatividad internacional aplicable, toda vez que la propagación de cierto tipo de señales de radiofrecuencia puede fácilmente traspasar fronteras, así como llegar a miles de km desde su origen, lo que conlleva el potencial de provocar problemas de interferencias perjudiciales a servicios de otros países; por lo que instrumentos como el RR así como los acuerdos y protocolos bilaterales y multilaterales juegan un papel primordial, además de la normatividad doméstica.

En este sentido, la UIT, siendo el organismo internacional del sistema de las Naciones Unidas especializado en las tecnologías de la información y la

²²Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). “Manual de Gestión Nacional del Espectro”. P. 3. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf

comunicación, cuenta con un rol fundamental para que los países logren un uso eficaz de sus recursos espectrales y de las órbitas satelitales, lo cual es logrado principalmente a través de la aplicación de las disposiciones del RR, que es un instrumento técnico – jurídico que se revisa cada tres o cuatro años durante las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones, y tiene nivel de tratado internacional vinculante para los Estados Miembros de la UIT. Asimismo, los Estados Miembros de la UIT consideran para el diseño y aplicación de su regulación nacional, la extensa serie de recomendaciones, informes, manuales y otras publicaciones de la UIT.

En el mismo tenor, existen organismos regionales donde concurren los intereses comunes de los países que se encuentran en una determinada situación geográfica, que de manera agrupada desarrollan reglas y recomendaciones aplicables a ese grupo de países, los cuales frecuentemente comparten fronteras y que por ende requieren llevar a cabo trabajos constantes de coordinación y compartición de frecuencias. Para el caso de la Américas, se cuenta con la Comisión Interamericana de Comunicaciones (CITEL), que forma parte de la Organización de Estados Americanos; la cual se divide en comités, siendo el Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones (CCP.II) el encargado de coordinar los trabajos de los Estados Miembros en materia de espectro radioeléctrico entre cuyos mandatos se destaca el siguiente: “Promover entre los Estados Miembros la armonización en el uso del espectro radioeléctrico, teniendo en cuenta la necesidad de prevenir y evitar interferencias perjudiciales, así como considerar el entorno electromagnético y sus posibles efectos en el ser humano.”²³

Respecto a las disposiciones de carácter nacional, de acuerdo con el artículo 28 Constitucional²⁴, el Instituto Federal de Telecomunicaciones es el órgano autónomo que tiene por objeto el desarrollo eficiente de la radiodifusión y las

²³ Comisión Interamericana de Telecomunicaciones. (2018). “Mandatos”. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: <https://www.citel.oas.org/es/Paginas/PCCII/Mandates.aspx>

²⁴ Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación (DOF). 5 de febrero de 1917, última reforma publicada en el DOF el 8 de mayo de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_080520.pdf

telecomunicaciones, y que tiene a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico.

Por lo que hace a la gestión del espectro radioeléctrico en México, como se señaló anteriormente, esta corresponde por mandato constitucional al Instituto Federal de Telecomunicaciones y para ello, la LFTR establece una serie de principios que deben observarse en la administración del espectro, así como los objetivos que dicha administración debe perseguir.

En cuanto a los principios, el IFT debe ajustarse a lo dispuesto por la Constitución, la LFTR, los tratados y acuerdos internacionales firmados por México y, en lo aplicable, siguiendo las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y otros organismos internacionales.

El artículo 54 de la LFTR dispone que:

“Al administrar el espectro, el Instituto perseguirá los siguientes objetivos generales en beneficio de los usuarios:

- I. La seguridad de la vida;*
- II. La promoción de la cohesión social, regional o territorial;*
- III. La competencia efectiva en los mercados convergentes de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión;*
- IV. El uso eficaz del espectro y su protección;*
- V. La garantía del espectro necesario para los fines y funciones del Ejecutivo Federal;*
- VI. La inversión eficiente en infraestructuras, la innovación y el desarrollo de la industria de productos y servicios convergentes;*
- VII. El fomento de la neutralidad tecnológica, y*
- VIII. El cumplimiento de lo dispuesto por los artículos 2o., 6o., 7o. y 28 de la Constitución.”²⁵*

En contraste, los objetivos considerados en el Manual de Gestión del Espectro de la UIT que son adoptados en diverso grado por los países son los siguientes:

²⁵ Diario Oficial de la Federación (DOF). Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. (2014). Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

- *“ofrecer servicios de telecomunicaciones eficaces, a escala nacional y a escala mundial para usos personales y comerciales;*
- *impulsar las innovaciones en el desarrollo de infraestructuras y prestación de servicios de radiocomunicaciones;*
- *servir los intereses nacionales, incluidas la seguridad y la defensa;*
- *salvaguardar la vida humana y la propiedad privada;*
- *contribuir a la prevención de la delincuencia y al cumplimiento de las leyes;*
- *colaborar con los sistemas nacionales e internacionales de transporte;*
- *fomentar la conservación de los recursos naturales;*
- *colaborar en la difusión de información y entretenimiento de interés educativo, general y público; y*
- *promover la investigación científica, el desarrollo de recursos y su prospección.”²⁶*

Como puede apreciarse, la LFTR rescata varios de los principios de la gestión del espectro radioeléctrico considerados en el manual, tales como los relacionados con la seguridad de la vida, la inversión, innovación y el desarrollo de la industria de productos y servicios convergentes; y lo relacionado con la difusión de información y entretenimiento de interés educativo, general y público, que en el caso de nuestro país están consagrados incluso a nivel Constitucional en los artículos sexto y séptimo de la CPEUM.

Es visible que existe una fuerte correlación entre los aspectos nacionales e internacionales de la gestión del espectro radioeléctrico, lo cual guarda lógica dado que el desarrollo y comercialización de las tecnologías de radiocomunicaciones suele ser de alcance global, así como el uso compartido del espectro en las fronteras de los países que obliga a adoptar reglas comunes, y la búsqueda constante de las mejores prácticas aplicadas a nivel internacional para ser

²⁶ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). *“Manual de Gestión Nacional del Espectro”*. P. 3. Consultado el 17 de septiembre de 2020 en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf

adoptadas de forma local por los países, hace que el espectro se gestione bajo ciertos principios y estructura que son comunes en la mayoría de los países.

A este respecto, el Manual de Gestión Nacional del Espectro de la UIT considera una serie de elementos a manera de requisitos que son necesarios para contar con una gestión y administración del espectro eficaz.

En el cuadro siguiente, se muestran dichos requisitos y cuál es su equivalente en el ámbito nacional:

Cuadro 2. Requisitos para la Gestión del Espectro

Requisito en el Manual de la UIT	Equivalente Nacional
Planificación y normativa de la gestión del espectro	<ul style="list-style-type: none"> - Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión - Estatuto orgánico del IFT
Financiación de la gestión del espectro, en particular mediante la aplicación de tasas	<ul style="list-style-type: none"> - Ley Federal de Derechos - Contraprestaciones
Atribución y adjudicación de las bandas de frecuencias	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando Nacional de Atribución de Frecuencias - Programa Anual de Bandas de Frecuencias
Asignación de frecuencias y concesión de licencias	<ul style="list-style-type: none"> - Programa Anual de Bandas de Frecuencias - Licitaciones, asignaciones y autorizaciones
Consulta y coordinación nacional	<ul style="list-style-type: none"> - IFT- Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico - IFT- Procesos de Consultas Públicas
Cooperación internacional y regional, incluidas la notificación y coordinación de frecuencias	<ul style="list-style-type: none"> - Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones - Acuerdos y Protocolos internacionales - Acuerdos de Colaboración internacional interinstitucional - Colaboración en organismos Internacionales (UIT, CITELE, Regulatel, OECD, CEABAD)
Normas, especificaciones y homologación de equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Disposiciones Técnicas - Laboratorios acreditados - Lineamientos
Comprobación técnica	<ul style="list-style-type: none"> - IFT- Dirección General Adjunta de Vigilancia del Espectro Radioeléctrico

Requisito en el Manual de la UIT	Equivalente Nacional
Fiscalización de la utilización del espectro	- IFT- Unidad de Cumplimiento
Funciones de apoyo a la gestión del espectro	<ul style="list-style-type: none"> - IFT- Sistema Integral de Administración del Espectro Radioeléctrico (SIAER) - IFT- Estudios (Unidad de Espectro Radioeléctrico / Centro de Estudios)

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior, es posible concluir que la legislación y el marco institucional mexicanos cubren todos los requisitos incorporados en el Manual de Gestión del Espectro de la UIT, por lo que la gestión del espectro en México, al menos en el plano jurídico-institucional, es acorde con la práctica internacional.

Si bien los principios y requisitos generales de la gestión espectral suelen ser comunes y relativamente estables a lo largo del tiempo, es necesario identificar con oportunidad los nuevos retos que plantean las innovaciones en materia tecnológica que obligan a revisar las reglas establecidas a efecto de poder habilitar nuevos esquemas de utilización del espectro, servicios y aplicaciones innovadoras, en beneficio de una utilización más eficiente del espectro radioeléctrico que repercuta de forma positiva en los mercados con más competencia, innovación, nuevos servicios y alternativas de elección para el público, en favor del progreso y el bienestar social.



Capítulo 2.
Uso Eficiente del Espectro
Radioeléctrico

Capítulo 2. Uso Eficiente del Espectro Radioeléctrico

El presente capítulo pretende establecer la conceptualización del uso eficiente del espectro, partiendo de la premisa de que al tratarse de un recurso escaso, sobre todo para la prestación de servicios que son altamente demandados actualmente, como por ejemplo los servicios móviles de banda ancha, entre otros, implica que se debe procurar que este recurso sea planificado, asignado y utilizado de la manera más eficiente posible, de forma que se evite una utilización subóptima de los recursos espectrales, con la consecuente pérdida de bienestar social derivada de su planificación errónea, asignación o utilización deficiente, o incluso de la no utilización del espectro.

De ahí, que el uso eficiente del espectro esté considerado como uno de los principios de política pública en la legislación nacional²⁷, disponiendo que el IFT deba velar por el uso eficiente del espectro a través de una adecuada gestión del mismo, asegurando que con el uso eficiente de este importante recurso se maximicen los beneficios sociales que se obtienen a través del desarrollo de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión

En este capítulo se abordará la eficiencia del espectro radioeléctrico únicamente desde la óptica de la utilización, es decir, la eficiencia ligada a la prestación de los servicios de radiocomunicaciones; por lo cual se asume que las etapas de planeación y de asignación del espectro, las cuales son previas a la utilización del recurso espectral han sido llevadas a cabo de manera eficiente. Sin embargo, es importante reconocer que cada una de las etapas influyen en la manera en la cual finalmente es utilizado el espectro radioeléctrico.

Si bien este capítulo se centra en la eficiencia en el uso del espectro, no es menos importante poner atención en los procesos que conllevan su adecuada

²⁷ Principios establecidos en el artículo Quinto Transitorio del Decreto de Reforma Constitucional en Materia de Telecomunicaciones del 11 de junio de 2013; en la fr. XLVIII del Art. 15 de la LFTR y en el entonces vigente Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2017-2018.

planeación, los cuales a su vez desembocarán en los procedimientos de asignación de bandas de frecuencias, en los cuales es crítico tener un diseño y estrategia que conduzca a una asignación eficiente de las frecuencias. Por lo tanto, la triada Planeación-Asignación-Utilización del espectro debe estar adecuadamente diseñada y ejecutada, toda vez que, si alguno de estos componentes se ejecuta de manera deficiente, aun y cuando los demás estén funcionando adecuadamente, inevitablemente esto conducirá en una utilización ineficiente del espectro.

Por ejemplo, una decisión errónea en la planeación del espectro, puede ser aquella en la cual se designe la utilización de cierta banda de frecuencias para un servicio "A" en lugar del servicio "B", sin haber llevado a cabo los análisis, estudios y consultas previas, que demuestren que en el largo plazo, el bienestar que aporte a la sociedad la utilización del espectro por el servicio "A" es superior al que aporta el servicio "B", en uno o varios términos tales como el valor aportado al desarrollo económico, desarrollo de infraestructura, cantidad de personas potencialmente beneficiadas con los servicios, ingresos al Estado, creación de empleos; así como el aporte del servicio elegido al ejercicio de derechos humanos como el de acceso a la información, libertad de expresión, educación, entre otros.

Una planificación ineficiente del espectro radioeléctrico, puede implicar que una determinada banda de frecuencias quede subutilizada o que su aporte a la economía y al bienestar se vea limitado, por ejemplo, al no desarrollarse, para el servicio elegido, suficientes economías de escala para la provisión de tecnologías, lo que puede conducir a la inhibición de la inversión en redes o limitar la disponibilidad de dispositivos de usuario, o que el servicio elegido no sea técnicamente compatible con otros servicios en la misma banda de frecuencias, o bien, que la coordinación de frecuencias para evitar interferencias sea altamente compleja o costosa.

En el ámbito de la eficiencia en la asignación del espectro, hoy en día son comúnmente aceptados a nivel internacional, los procesos de licitación o subasta como método para llevar a cabo una asignación eficiente del espectro. Tal como lo

anota Cramton (2002)²⁸, “*usar una subasta para asignar recursos escasos es muy superior a los métodos previos: audiencias comparativas y loterías. Con una subasta bien diseñada, hay una fuerte tendencia a que las licencias vayan a las partes que más las valoran, y Hacienda obtiene los muy necesarios ingresos en el proceso.*”

Se parte del principio económico que los mecanismos de subasta tienden a identificar a los participantes que tienen las valoraciones más altas por el bien subastado, en este caso espectro radioeléctrico, y por ende tendrán el incentivo de hacer el uso más eficiente del recurso para recuperar el precio pagado por él.

Por el contrario, otros procesos como por ejemplo los “concursos de belleza” pueden conducir a una asignación no eficiente, en el sentido de que puede dar lugar a decisiones de asignación basadas en apreciaciones subjetivas de los tomadores de decisiones, discrecionalidad en la asignación, o que los compromisos asumidos por los postores sean exagerados con tal de ganar la asignación, cuando en realidad pueden tener dificultades para cumplirlos o que simplemente busquen evitar *ex post* el cumplir con ellos.

No obstante, aun un proceso de subasta puede llevar a una asignación ineficiente, en caso de que las reglas y ejecución del proceso no anticipen y resuelvan riesgos tales como la colusión entre participantes, desplazamiento de competidores, “maldición del ganador”²⁹, asimetría de información, valuación errónea de precios de salida, entre otros. Esto ha llevado a que los procesos de licitación bien diseñados incorporen las reglas necesarias para asegurar que se

²⁸Martin Cave, Sumit Majumdar, Ingo Vogelsang. (2002). “*Handbook of Telecommunications Economics*”. Amsterdam. Elsevier Science B.V. Capítulo 14, pp. 605-639.

²⁹ “La maldición del ganador” es una tendencia a que la oferta ganadora en una subasta exceda el valor intrínseco o el valor real de un artículo. La brecha entre el valor subastado y el valor intrínseco generalmente se puede atribuir a información incompleta, postores, emociones o una variedad de otros factores subjetivos que pueden influir en los postores. En general, los factores subjetivos suelen crear una brecha de valor porque el postor se enfrenta a dificultades para determinar y racionalizar el verdadero valor intrínseco de un bien. Como resultado, la mayor sobreestimación del valor de un artículo termina ganando la subasta. Descripción tomada de: Investopedia. (2020). Disponible en: <https://www.investopedia.com/terms/w/winnerscurse.asp>

lleve a cabo una asignación eficiente de los recursos, evitando así un resultado ineficiente en el cual los ganadores no hagan el uso óptimo del recurso, dando lugar a fenómenos como el acaparamiento de frecuencias para evitar la entrada de competidores o acumulación con ánimo meramente especulativo, precios pagados más allá de la valuación privada del ganador, procesos desiertos por una sobre valoración del bien subastado, falta de reglas que permitan a los ganadores “reventar” los procesos de licitación inflando las posturas, o falta de reglas que permitan a los ganadores evitar o cambiar las condiciones y compromisos de los títulos otorgados (por ejemplo en términos de despliegue de infraestructura o cobertura, plazo para prestar servicios, calidad de los servicios, compromisos de cobertura social, entre otros).

1. ¿Qué es el uso eficiente del espectro?

El concepto del uso eficiente del espectro radioeléctrico, se encuentra incorporado en diversas disposiciones del marco normativo nacional, así como en diversas reglamentaciones, normas y recomendaciones internacionales.

En el ámbito nacional, podemos identificar el concepto de uso eficiente del espectro, el cual es citado reiteradamente en los siguientes apartados de diversos cuerpos normativos:

- a) Reforma Constitucional en Materia de Telecomunicaciones. – El concepto de uso eficiente del espectro, es posible encontrarlo en el Artículo Quinto Transitorio del Decreto publicado en el DOF el 11 de junio de 2013³⁰, en cuyo tercer párrafo se indica lo siguiente:

“QUINTO. (...)

³⁰ DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. Diario Oficial de la Federación. 11 de junio de 2013. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301941&fecha=11/06/2013

(...)

La transición digital terrestre culminará el 31 de diciembre de 2015. Los Poderes de la Unión estarán obligados a promover, en el ámbito de sus competencias, la implementación de equipos receptores y decodificadores necesarios para la adopción de esta política de gobierno garantizando, a su vez, los recursos presupuestales que resulten necesarios. Los concesionarios y permisionarios están obligados a devolver, en cuanto culmine el proceso de transición a la televisión digital terrestre, las frecuencias que originalmente les fueron concesionadas por el Estado, a fin de garantizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, la competencia y el uso óptimo de la banda de 700 MHz.”

(énfasis añadido)

b) Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. – la LFTR, publicada en el DOF el 14 de junio de 2014³¹, contempla en diversos de sus artículos a la eficiencia espectral como un principio que debe guiar las acciones del IFT en la administración de este recurso. No obstante, la LFTR no establece de forma explícita qué debe ser entendido por “eficiencia espectral”, por lo que es necesario que primeramente el IFT se pronuncie respecto a este concepto, qué componentes y alcance tiene, cómo debe ser cuantificada o medida la eficiencia espectral, y las reglas o lineamientos que, en su caso, deberán ser observados por los concesionarios a efecto de cumplir con las determinaciones del IFT a este respecto. En específico, el Artículo 15 de la LFTR establece lo siguiente:

- *“Artículo 15. Para el ejercicio de sus atribuciones corresponde al Instituto:*

³¹ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Diario Oficial de la Federación. 14 de julio de 2014. Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

(...)

XLVIII. Establecer las métricas de eficiencia espectral que serán de observancia obligatoria, así como las metodologías de medición que permitan cuantificarlas;”

(...)

Asimismo, la LFTR contempla que debe privilegiarse el uso eficiente del espectro en procedimientos tales como el arrendamiento de espectro o el cambio de bandas de frecuencia, detallados en los artículos 104 a 107 de la misma.

Por último, la LFTR contempla como supuesto de infracción el incumplimiento de los niveles de eficiencia en el uso del espectro establecidos por el Instituto, y establece sanciones del 2.01% hasta el 6% de los ingresos del concesionario o autorizado.

- c) Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2017-2018.- El Decreto de Reforma Constitucional, en su Artículo Décimo Séptimo transitorio³² ordenó al Ejecutivo Federal incluir en el Plan Nacional de Desarrollo y en los programas sectoriales, un Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico.

En consecuencia, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, publicó en el DOF del 26 de septiembre de 2019, el “Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2017-2018” (PNER), en cuyo numeral I.3 “Uso eficiente del espectro” se incorpora lo siguiente:

“I.3. Uso eficiente del espectro.

³² DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. Diario Oficial de la Federación. 11 de junio de 2013. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301941&fecha=11/06/2013

I.3.1. Evaluación del uso eficiente del espectro radioeléctrico.

La creciente necesidad de espectro radioeléctrico para servicios de telecomunicaciones y radiodifusión obliga a encontrar nuevas y mejores formas de aprovecharlo de manera cada vez más eficiente.

Acorde a lo establecido en el artículo 15, fracción XLVIII, de la LFTR, el presente Programa tiene líneas de acción para propiciar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, así como realizar las acciones necesarias para lograrlo, tales como evaluar la eficiencia de uso de este recurso y la reconfiguración y reasignación del espectro ya concesionado para anticipar su utilización futura en el mediano y largo plazo. Lo anterior tomando como base las referencias y tendencias internacionales, así como las mejores prácticas en materia de autoridades y reguladores de otros países.

Desde un punto de vista técnico, el concepto de uso eficiente del espectro debe incorporar elementos geográficos, del tiempo de uso, de la cantidad de información a ser transmitida, de calidad del servicio y, por supuesto, de la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos.

En adición a los aspectos técnicos, deben considerarse otros aspectos que inciden en la valoración de la eficiencia en el aprovechamiento de este recurso, particularmente aquellos relativos a los beneficios sociales que genera la provisión de un servicio, así como aquellos que impactan directa e indirectamente en el desarrollo económico, tales como el aumento del producto interno bruto o la creación de nuevos empleos en más mercados y sectores.

Tal como lo señala el Acuerdo del IFT, las líneas de acción que incluye este Programa permitirán, además, contar con un indicador que, de manera clara y

transparente, determine la eficiencia con la que se están utilizando las bandas de frecuencias a fin de fomentar su óptimo aprovechamiento.”³³

Derivado de lo anterior, el PNER incorporó como uno de sus tres objetivos fundamentales lo siguiente:

“Capítulo III. Objetivos, Estrategias y Líneas de Acción.

(...)

Objetivo 3: Fomentar el incremento de la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico en el país.

Descripción: El espectro radioeléctrico es un recurso escaso y en consecuencia es necesario que las políticas públicas y medidas regulatorias que se dictan busquen hacer más eficiente su uso.

Toda vez que el uso eficiente del espectro involucra diferentes enfoques, este objetivo plantea la elaboración y ejecución de diversas estrategias y líneas de acción que tienen como fin determinar el grado de eficiencia con que se utiliza el espectro radioeléctrico, así como desarrollar medidas que permitan reorganizar el espectro.

Estrategia 3.1. Evaluar el uso eficiente del espectro radioeléctrico.

Líneas de acción

3.1.1. Elaborar métricas de eficiencia espectral de observancia obligatoria.

3.1.2. Elaborar las metodologías de medición que permitan la aplicación de las métricas de eficiencia espectral.

³³ Diario Oficial de la Federación. “Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico”. 26 de septiembre de 2018. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5498528&fecha=26/09/2017

(...)³⁴

(énfasis añadidos)

Si bien el PNER fue un programa de una administración anterior y ya no se encuentra vigente, es el último que a la fecha ha sido publicado por el Ejecutivo Federal donde es posible apreciar que el uso eficiente del espectro ha sido establecido como un objetivo de política pública a través de los citados instrumentos, colocando a la eficiencia espectral como un elemento clave en la gestión de este recurso.

No obstante, como se destacó anteriormente, del análisis de los diversos ordenamientos antes citados no es posible extraer una definición clara de qué debe ser entendido por “eficiencia espectral”. Si acaso, es posible inferir que el concepto de eficiencia espectral puede abarcar aspectos como la cobertura, el tiempo de utilización, cantidad de usuarios, calidad, cantidad de información transmitida, entre otros; pero no es posible contar hasta ahora con un umbral claro de a partir de qué punto o valores se considera que el espectro se usa eficientemente o no.

Por otro lado, existen estudios y documentos que han abordado la cuantificación de la eficiencia espectral desde diversos enfoques. En particular, La Unidad de Espectro Radioeléctrico (UER) del IFT, llevó a cabo el estudio “Medición de la Eficiencia Espectral. Definición y consideraciones a observar para su aplicación en México”, en el cual se reseñan las principales investigaciones de la academia, reguladores y organismos internacionales sobre el tema, derivado de lo cual el estudio identifica que:

- *“No existe una definición concreta ni global que permita conocer los alcances y/o factores que comprenden la eficiencia espectral.”*

³⁴ *ídem*

- *Para evaluar la eficiencia espectral de manera holística, los factores que sean considerados para evaluarla, no sólo deben considerar el ámbito técnico, si no otros aspectos tales como los económicos, regulatorios, sociales, etc.*
- *El común denominador en los esfuerzos teóricos relacionados con definiciones de eficiencia espectral considera la cantidad de espectro utilizado, el área geográfica a utilizar y el tiempo de utilización de dicho recurso: el espectro espacio, el cual se ve modificado dependiendo del tipo de servicio de radiocomunicaciones a evaluar.*
- *Para la evaluación de la eficiencia espectral, de ningún modo sus elementos deberán estar conformados por supuestos, parámetros o coeficientes “ideales”, ya que lo “ideal” deriva en lo discrecional, sin importar que tan “justificado” que se encuentre ese parámetro dentro de la métrica.*
- *Se debe tener mucha precaución en la aplicación de las métricas, ya que, en aras de promover la eficiencia espectral, éstas pueden resultar una fuerte carga económica para el poseedor del espectro dados los potenciales costos en los que incurriría para alcanzar cierto nivel deseable de eficiencia espectral.*
- *La métrica de eficiencia espectral que se proponga adoptar, deberá estar diseñada únicamente para comparar sistemas de radiocomunicaciones del mismo tipo. Lo anterior, implica que se deberán diseñar métricas distintas, que contemplen las diferentes gamas de servicios de radiocomunicaciones existentes.*
- *Los Reguladores han optado por ejecutar otro tipo de mecanismos para promover la eficiencia espectral. Por ejemplo, la adopción de nuevas tecnologías en las redes de los concesionarios (de forma voluntaria o como parte de una política pública), etc.”³⁵*

³⁵ Instituto Federal de Telecomunicaciones. Unidad de Espectro Radioeléctrico. (2017). “Medición de la Eficiencia Espectral. Definición y consideraciones a observar para su aplicación en México”. Disponible en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/13534/documentos/mediciondelaeficienciaespectralsc.pdf>

Asimismo, el citado estudio propone una definición de lo que podría entenderse por Eficiencia Espectral:

“Eficiencia Espectral: es la capacidad de los sistemas de telecomunicaciones o radiodifusión de transmitir la mayor cantidad de información utilizando la menor cantidad de espectro radioeléctrico, manteniendo la calidad de las comunicaciones al nivel mínimo aceptable que corresponda. Dicha capacidad, es dependiente de las características tecnológicas, regulatorias y el entorno socioeconómico relacionadas con el servicio de telecomunicaciones o radiodifusión de que se trate.”³⁶

Partiendo de las propuestas contenidas en el estudio del IFT, es posible establecer que la eficiencia del uso del espectro pasa por varias etapas, las cuales van desde su planificación, hasta su utilización, lo que añade grandes complejidades para poder alcanzar, de manera determinística, una cuantificación clara y objetiva de lo que se entiende por uso eficiente del espectro, sobre todo en mercados donde, como en el caso de México, se observan principios como la neutralidad tecnológica, la libertad tarifaria, el libre mercado y la competencia económica, los cuales en su conjunto deberían conducir a la eficiencia en el funcionamiento de los sectores de telecomunicaciones y de radiodifusión, y por ende, en la utilización eficiente de los bienes e insumos, como el espectro radioeléctrico, que se requieren para operar en un ambiente competitivo. Por ello, debe considerarse con sumo cuidado el diseño de la regulación para establecer métricas de eficiencia espectral, dadas las implicaciones que puede tener en los principios antes señalados y el impacto en el desarrollo de negocios y estrategias de mercado implementadas por los concesionarios que compiten entre sí.

Tema aparte, es el de las asignaciones de espectro otorgadas a los gobiernos municipales, estatales o a nivel federal, en donde es frecuente identificar asignaciones que son sub utilizadas, no se usan, o que se utilizan para fines distintos a los que originalmente estaban destinadas, lo que implica el uso ineficiente

³⁶ *ídem*

de los recursos espectrales. No obstante, se debe ser cuidadoso en continuar asegurando la disponibilidad de espectro para su utilización en aplicaciones ligadas a la Seguridad Nacional, seguridad pública, atención de emergencias, o algunos otros sistemas considerados como de misión crítica, tales como los sistemas de alerta sísmica, o el monitoreo y control de recursos hidráulicos, entre otros.

2. Las tecnologías de acceso dinámico y su uso compartido como instrumentos para potenciar el uso eficiente del espectro

A partir de los elementos descritos en la sección anterior, se parte de la base que la eficiencia en el uso del espectro en parte depende de incrementar la cantidad de información que es transmitida por cada Hertz de espectro, lo cual nos lleva a identificar aquellas técnicas, métodos y tecnologías, que precisamente incrementen la eficiencia espectral.

En tal sentido, las tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro, representan una de las alternativas para incrementar la eficiencia en el uso del espectro, ya que tienen la capacidad de transmitir información en una capa que es subyacente a la cual ocurren las transmisiones típicas de los demás servicios de radiocomunicaciones, lo que implica que, partiendo de un grado de eficiencia espectral “estático” provisto por un servicio determinado, es posible incrementarlo gracias a la implementación, en la misma banda de frecuencias, de otras tecnologías que habiliten la transmisión de información adicional a la actualmente transmitida, lo cual resulta en una ganancia en eficiencia del espectro:

$$Ef_{total(A)} = Ef_{S1(A)} + Ef_{S2(A)} + \dots + Ef_{Sn(A)} \quad (1)$$

Donde:

$Ef_{total(A)}$ = Eficiencia espectral total en la banda de frecuencias “A”

$Ef_{S1(A)}$ = Eficiencia espectral del sistema de radiocomunicaciones “1” operando en la banda de frecuencias “A”

$Ef_{S2} =$ Eficiencia espectral del sistema de radiocomunicaciones "2" operando en la banda de frecuencias "A"

$Ef_{Sn} =$ Eficiencia espectral del sistema de radiocomunicaciones "n" operando en la banda de frecuencias "A"

En cuanto a la eficiencia espectral de un determinado sistema de radiocomunicaciones, sobre un periodo de tiempo determinado de observación, es posible especificarla en los siguientes términos:

$$Ef_S = \frac{\text{cantidad de información/estación}}{\text{área de cobertura} \cdot \text{anchura de banda utilizado}} \quad (2)^{37}$$

Donde:

$Ef_S =$ Eficiencia espectral de un sistema

cantidad de información/estación = Cantidad de información en Erlangs, bits, bytes, mensajes, u otra unidad de información, por cada estación del sistema de radiocomunicaciones.

área de cobertura = Área geográfica en la cual está disponible o disponible el servicio de radiocomunicaciones para su utilización por parte de los usuarios, en m²

³⁷ Ecuación basada en trabajos de: Sviridenko, Serge S. (1977). "Spectrum Utilization Problems". IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. vol. EMC-19. no. 3. Suiza. pp. 260-265.

ancho de banda utilizado = Cantidad de espectro radioelctrico en Hertz (Hz) empleado para llevar a cabo las transmisiones

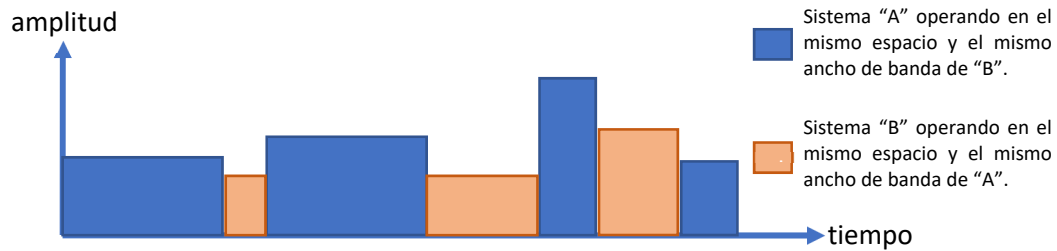
A partir de las ecuaciones (1) y (2) anteriores, es posible identificar lo siguiente: la eficiencia en uso del espectro se incrementa cuando:

- a) Concurren dos o más sistemas de radiocomunicaciones en una misma banda de frecuencias.
- b) Cada sistema utiliza la menor cantidad de espectro posible.
- c) Entre menor sea el área en la cual se utiliza el espectro, se incrementa la eficiencia, puesto que, al no utilizarse en grandes extensiones, quedan disponibles “espacios” en los cuales será posible llevar a cabo emisiones por parte de otros sistemas de radiocomunicaciones.
- d) La eficiencia es directamente proporcional a la cantidad de información que sean capaces de transmitir los sistemas de radiocomunicaciones.

Por ende, se advierte claramente que es posible incrementar la eficiencia espectral en la utilización del espectro al habilitar la concurrencia de más de un sistema de radiocomunicaciones en una misma banda de frecuencias, de forma tal que técnicamente sea posible el compartir una o más “dimensiones” espacio, tiempo o ancho de banda utilizado, habilitando diversas posibilidades de uso alternativo del espectro:

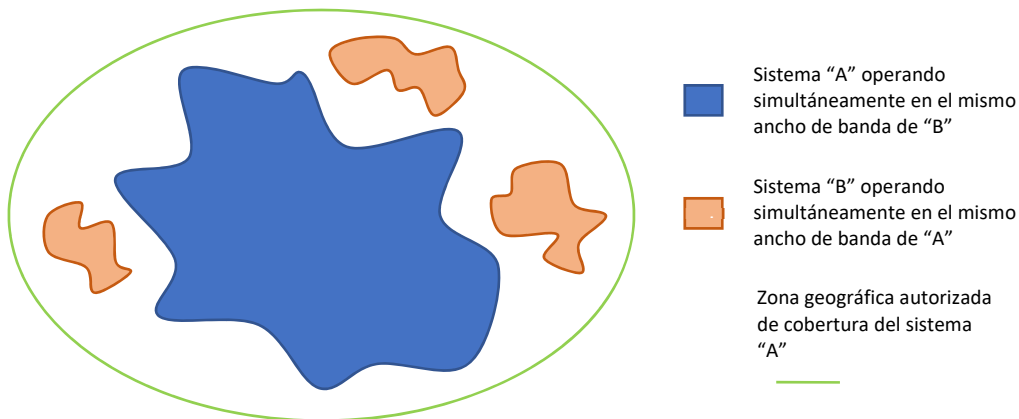
- Compartición de las dimensiones espacio - ancho de banda: Un sistema de radiocomunicaciones “A”, opera en el mismo espacio geográfico y en la misma banda de frecuencias que el sistema de radiocomunicaciones “B”, pero “A” no lleva a cabo transmisiones de forma permanente o continua en el tiempo, lo que permite que “B” lleve a cabo emisiones durante los periodos de tiempo en los cuales “A” no lleve a cabo emisiones.

Figura 2. Compartición espacio – ancho de banda



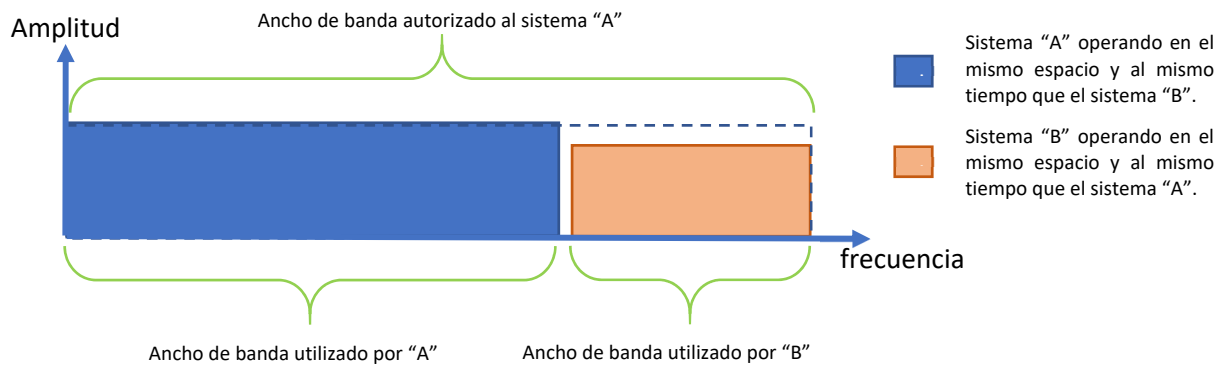
- Compartición de las dimensiones tiempo – ancho de banda: Un sistema de radiocomunicaciones "A", opera al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencias que el sistema de radiocomunicaciones "B", pero "A" no lleva a cabo transmisiones en la totalidad del área geográfica que tiene autorizada, de manera tal que "B" puede llevar a cabo emisiones en los espacios geográficos en los cuales "A" no tiene presencia de sus señales.

Figura 3. Compartición tiempo– ancho de banda



- Compartición de las dimensiones espacio-tiempo: Un sistema de radiocomunicaciones "A", opera al mismo tiempo y en el mismo espacio geográfico que el sistema de radiocomunicaciones "B", pero "A" no utiliza el 100% del espectro asignado, dejando disponible una cierta cantidad de espectro sin utilizar, lo que implica que "B" pueda llevar a cabo emisiones en el ancho de banda no utilizado por "A".

Figura 4. Compartición espacio – tiempo



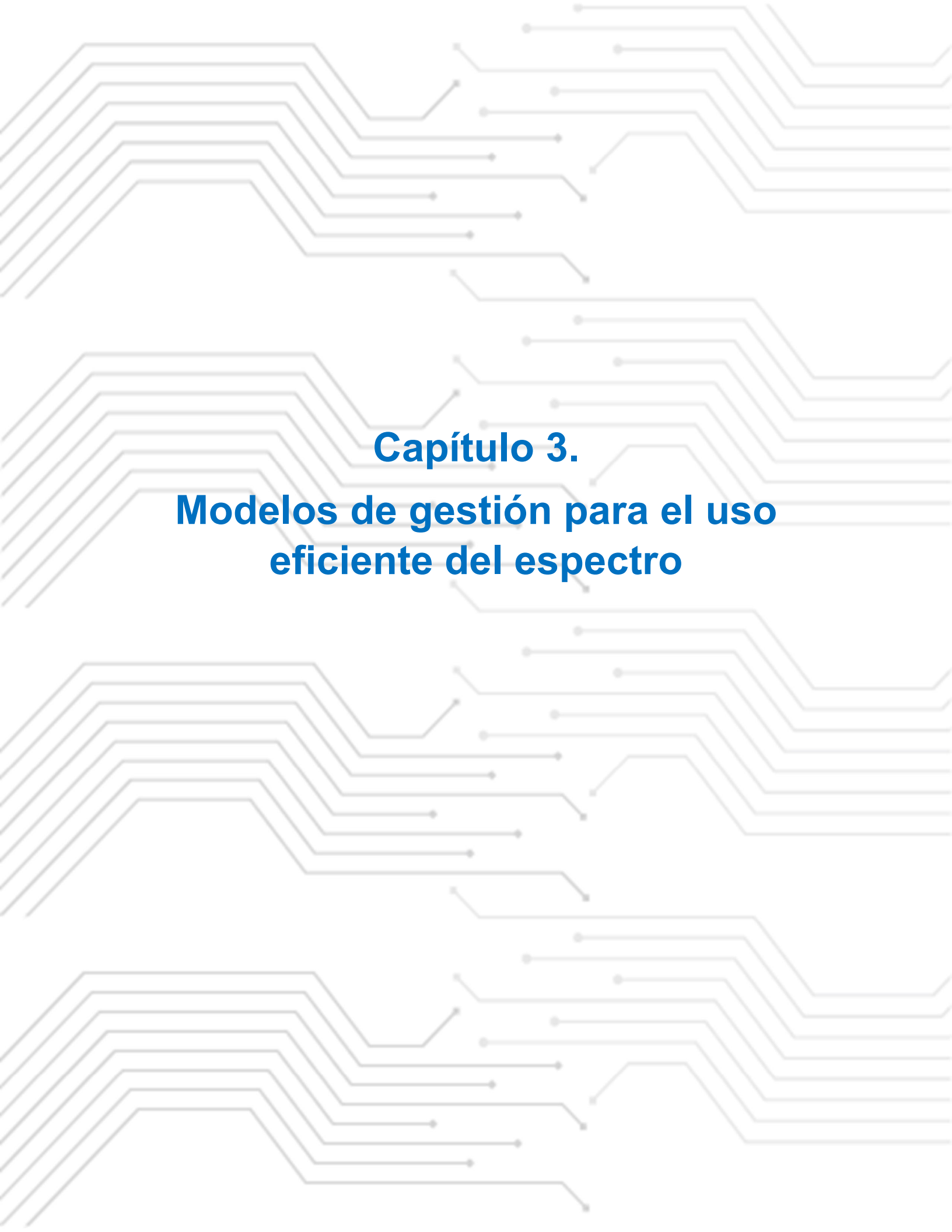
Hoy en día, existen tecnologías que posibilitan la compartición de espectro bajo los modos anteriormente descritos, y son conocidas generalmente como tecnologías de acceso dinámico o tecnologías de compartición de espectro, las cuales impactan de forma positiva en el grado de eficiencia en el cual se utiliza el espectro radioeléctrico, tal como se describió en párrafos anteriores. No obstante, la implementación y aprovechamiento de dichas tecnologías suelen enfrentar barreras para su implementación, debido a que los marcos regulatorios no siempre son compatibles con estas modalidades de uso del espectro. Esta problemática se aborda a detalle en el Capítulo 5. Alternativas regulatorias para implementar el uso flexible del Espectro Radioeléctrico en México.

Con el marco que rige actualmente el espectro, y ante la falta hoy en día de normatividad de observancia obligatoria para la cuantificación del uso eficiente del espectro, los concesionarios prácticamente no cuentan con incentivos suficientes para llevar a cabo los esfuerzos técnica y económicamente razonables para incrementar el grado de eficiencia en la utilización del espectro que tienen asignado.

Por el otro lado, existen partes interesadas que por diversas razones no tienen espectro asignado, pero cuentan con la necesidad de utilizar servicios de telecomunicaciones inalámbricas que no están disponibles por parte de los proveedores, ya sea porque no existe cobertura de sus redes, tienen necesidades específicas que no son cubiertas por los proveedores, o sus precios son prohibitivos.

Lo anterior no es perjudicial *per sé*, ya que el modelo de asignación de espectro “estático”, brinda certidumbre tanto al regulador como al concesionario sobre los términos y condiciones en los cuales una concesión es otorgada y provee los incentivos para que el concesionario lleve a cabo inversiones en el desarrollo de su red y preste servicios en condiciones óptimas. No obstante, también deben reconocerse las posibles ineficiencias en el uso del espectro e identificar cuáles podrían ser los mecanismos bajo los cuáles tales ineficiencias pudieran mitigarse, ya sea por el propio concesionario poseedor del espectro, o en su caso, por terceros que estén en capacidad de innovar y aprovechar las oportunidades o “espacios” que permiten utilizar espectro usado de forma subóptima, al mismo tiempo que se conservan y prevalecen las operaciones de los servicios ya existentes.

Esta tarea, ineludiblemente corresponde al regulador, quien debe proporcionar el entorno regulatorio necesario de forma tal que puedan converger los intereses de los concesionarios actuales y las necesidades de los que demandan el acceso a recursos espectrales de manera innovadora, en donde el IFT, debe funcionar como un articulador y árbitro que, al posibilitar el acceso y uso flexible del espectro, asegure el uso más eficiente posible de este recurso.



Capítulo 3.
**Modelos de gestión para el uso
eficiente del espectro**

Capítulo 3. Modelos de gestión para el uso eficiente del espectro

1. Aspectos Generales

En este capítulo, se abordarán los modelos de gestión del espectro radioeléctrico que pueden dar cabida a la provisión de servicios a través tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro, ya que, como se describió en el capítulo anterior, dotan no solamente de mayor flexibilidad a la asignación de este recurso, sino que los esquemas de uso flexible del espectro posibilitan incrementar el grado de eficiencia en el uso del espectro, lo que contribuye a lograr el objetivo de política pública de hacer un uso más eficiente de este recurso.

Primeramente, es necesario entender el por qué es necesario controlar la forma en la cual se utiliza el espectro, ya que la física de las ondas electromagnéticas predice que cuando las emisiones de más de un transmisor están alienadas en frecuencia – ya sea en la componente fundamental de frecuencia o alguna armónica –, ocurren en el mismo tiempo y estas inciden sobre un mismo receptor, se degrada la capacidad de recibir la información transportada por dichas ondas electromagnéticas, lo que da lugar al fenómeno conocido como “interferencia”, tal como se expresa en el Reporte *Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy*³⁸.

Asimismo, Carter (2009) expresa que, “en caso de no haber alguna forma de control o exclusión, los usuarios consumen el espectro sin tener en cuenta el hecho de que su uso provoca el efecto perjudicial de interferencia para otros posibles usuarios. Por tanto, tienden a abusar del espectro, reduciendo los beneficios obtenidos por todos.” Este resultado en el que el uso excesivo reduce el beneficio

³⁸ Carter, Kenneth R. (2009). “*Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy*”. WIK Paper de discusión No. 326, Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1522038>

de todos los usuarios y la consiguiente reducción en el bienestar social total se conoce como la “Tragedia de los Comunes”.³⁹”

Para resolver la problemática, es necesario que alguien tome el control sobre el acceso y uso del recurso escaso. Los gobiernos son quienes han asumido este papel en virtud de ser el Estado el ente garante del bienestar social y del uso de los recursos naturales de cada país y tiene la capacidad de ejercer autoridad, emitir normas, realizar la vigilancia e imponer sanciones; para lo cual dispone del establecimiento de instituciones diseñadas para asumir tales responsabilidades; lo cual ha sido reconocido incluso a nivel del derecho internacional, tal como está consagrado en la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, que conforma uno de los textos fundamentales de la Unión que sientan sus bases legales y funcionamiento, de la cual forman parte 193 Estados miembros⁴⁰:

“Artículo 44 Utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas y de la órbita de los satélites

1 Los Estados Miembros procurarán limitar las frecuencias y el espectro utilizado al mínimo indispensable para obtener el funcionamiento satisfactorio de los servicios necesarios. A tal fin, se esforzarán por aplicar, con la mayor brevedad, los últimos adelantos de la técnica”

2 En la utilización de bandas de frecuencias para los servicios de radiocomunicaciones, los Estados Miembros tendrán en cuenta que las frecuencias y las órbitas asociadas, incluida la órbita de los satélites geoestacionarios, son recursos naturales limitados que deben utilizarse de forma racional, eficaz y económica, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de

³⁹ El término apareció en el año 1833 en un folleto escrito por el matemático William Foster Lloyd (1794-1852). La tragedia de los comunes, refleja un conflicto social sobre el uso de los recursos comunes (como por ejemplo peces del mar, pastos, bosques, etc.) en donde los intereses personales entran en conflicto con el interés común (fuente: <https://economipedia.com/definiciones/tragedia-los-comunes.html>)

⁴⁰ Miembros de la UIT a noviembre de 2020, según consulta de la lista de los Estados miembros realizada en la página https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/fmd/Pages/administrations_members.aspx

Radiocomunicaciones, para permitir el acceso equitativo a esas órbitas y a esas frecuencias a los diferentes países o grupos de países, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de determinados países”⁴¹

En tal sentido, la gestión del espectro puede ser llevada a cabo desde diversas perspectivas, las cuales difieren con base en las necesidades y limitaciones de cada país, el estado de desarrollo de su marco institucional, la composición y estado de liberalización de sus mercados y las obligaciones y acuerdos que se tengan con otros países. Los países conforman la gestión del espectro a través de una colección de disposiciones administrativas y técnicas para asegurar el control sobre el espectro radioeléctrico, y, deseablemente, propiciar el desarrollo del sector y lograr diversos objetivos de política pública, tales como la inclusión digital, universal, el desarrollo de infraestructura, impulsar la competencia económica, entre otros.

Es frecuente identificar que la forma de organizar el espectro y los servicios a los cuales se atribuye el mismo, están, en buena medida, influenciados por las decisiones tomadas a nivel global y regional en el seno de los organismos internacionales especializados, como lo son la UIT o la CITEL, para el caso de América, por ejemplo.

En estos organismos, cuyas decisiones generalmente se adoptan por consenso de sus Estados Miembros, y sus trabajos cuentan con contribuciones tanto de los propios Estados Miembros como de sus sectores asociados, como pueden ser la industria o la academia, se desarrolla una gran variedad de documentos en forma de recomendaciones, reportes, informes y manuales, que constituyen una fuente generalmente aceptada y valorada por las Administraciones

⁴¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2019). “*Conjunto de Textos Fundamentales adoptados por la Conferencia de Plenipotenciarios*”. Disponible en: <http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/5.22.61.es.300.pdf>

para el desarrollo y adecuación de sus marcos normativos domésticos, en atención a las necesidades y características particulares de cada país.

Por ello, tanto los organismos internacionales y consecuentemente, las agencias reguladoras, han tenido que responder a los retos que imponen el desarrollo de nuevas tecnologías, el surgimiento de nuevos modelos de negocio, casos de aplicación novedosos, responder a problemas no anticipados y al incremento en la demanda de servicios, entre otros aspectos, que obligan a llevar a cabo la revisión y evaluación continua de la regulación en la materia, incluyendo por supuesto, la regulación que atañe al espectro radioeléctrico.

Con el paso del tiempo, las instituciones dedicadas a la gestión y administración del espectro se han ido sofisticando y especializando, dado el constante avance tecnológico, el incremento de la demanda por los servicios y el creciente valor económico aportado a los países por las telecomunicaciones, surgiendo así propuestas en materia de gestión espectral tendientes a flexibilizar la regulación existente para disminuir las barreras regulatorias para acceder al espectro y con ello facilitar la implementación de nuevas tecnologías, el surgimiento de nuevos modelos de negocios y lograr un uso más eficiente del espectro.

2. Modelos de gestión del espectro

Al respecto, (Prasad & Sridhar, 2013)⁴², llevan a cabo una comparación sucinta entre los estilos de gestión de espectro del tipo “comando y control”, siendo este el modelo clásico de gestión espectral, y el modelo de gestión de espectro denominado como “flexible” propuesto de manera más reciente.

⁴² Prasad, R., & Sridhar, V. (2013). Moving from command and control. En I. T. (ITS) (Ed.), 24th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "Technology, Investment and Uncertainty". Florencia, Italia: International Telecommunications Society (ITS). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10419/88535>

Cuadro 3. Diferencia entre regímenes de gestión espectral del tipo “comando y control” y “Flexible”

Aspecto	Comando y control	Flexible
Adjudicación de bandas de frecuencias	Número limitado de Bandas disponibles para su uso comercial	Mayor cantidad de bandas disponibles, incluyendo la racionalización del espectro asignado al propio gobierno
Uso del Espectro	Especificación de tecnologías y/o servicios	Tecnología y servicio determinados por el usuario
Asignación del espectro	Precios determinados administrativamente; uso exclusivo (i.e. solo funciona el mercado primario de espectro)	Precios determinados por el mercado (a través de subastas); arrendamiento y comercialización del espectro asignado es posible a través de mercados secundarios
Obligaciones de despliegue	Obligatorias	Permite la coordinación entre los tenedores de espectro para cumplir obligaciones de cobertura

Fuente: Prasad, Rohit; Sridhar, V. (2013). *Moving from command and control to flexible use and to a spectrum commons*.

Los modelos de gestión espectral mostrados en el Cuadro 3 anterior, no necesariamente son excluyentes entre sí, por lo que es frecuente el identificar atributos de un modelo u otro en los marcos regulatorios de los países. Por ejemplo, en el caso de México, podemos observar que las concesiones de espectro están ligadas a determinados tipos de servicios tal como lo mandata el artículo 59 de la LFTR, lo que es consistente con el modelo de “comando y control”. En contraste, la asignación en México de espectro para uso comercial, se otorga mediante licitación pública, además de que se prevé el arrendamiento de espectro y los mercados secundarios del espectro, de acuerdo con los artículos 78 y 104 de la LFTR, respectivamente.

A un nivel macro, podemos dividir en varias categorías la forma en la cual se decide el destino de las bandas de frecuencias:

Gráfico 3. Categorías para la determinación del espectro



Conforme al Gráfico 3 anterior, el regulador cuenta, en principio, con las siguientes alternativas:

a) Espectro Asignado

- i. Concesiones y autorizaciones: El regulador habilita a una persona física o moral en específico, a través de una concesión, autorización o constancia, para utilizar el espectro radioeléctrico durante un plazo determinado y conforme a las condiciones establecidas en el propio título habilitante. Este tipo de asignación, dependiendo del tipo de concesionario, puede realizarse de forma directa o a través de un proceso competitivo entre los interesados, como es el caso de los procesos de licitación pública. Este tipo de instrumentos tienen poco margen de maniobra para su modificación durante su vigencia; particularmente los que están dirigidos a la prestación de servicios de carácter comercial.

- ii. **Uso sin licencia:** La autoridad reguladora emite una disposición de carácter general que fija las bases y condiciones para el acceso por parte de cualquier interesado en utilizar el espectro, pudiendo utilizarlo en los términos y condiciones establecidos en dicha disposición, tales como límites de potencia de las emisiones, ancho de banda de canales, tipo de dispositivos permitidos, entre otras. Este tipo de uso del espectro se conoce comúnmente como “uso sin licencia” o “uso libre”. Generalmente, las condiciones para el uso del espectro bajo esta categoría, son actualizadas cada cierto tiempo, en función de la evolución de las tecnologías que se utilizan con más frecuencia en determinada banda de frecuencias o canales específicos.

En esta categoría, también puede tener cabida, la utilización del espectro mundialmente armonizado por las Administraciones para algunos servicios de naturaleza científica, o bien para operaciones de alerta, seguridad, socorro y salvamento así como para la radionavegación marítima y aeronáutica, de conformidad con las especificaciones contenidas en los tratados internacionales aplicables, como el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT o tratados internacionales en materia de navegación aérea o marítima, entre otros; donde es frecuente que no existe una autorización o concesión otorgada a alguien en particular, sino que todos los que pueden llegar a demandar acceso a espectro de este tipo, lo hacen bajo reglas y protocolos definidos y acordados *ex ante* por la comunidad internacional.

b) Espectro no Asignado

- i. **Espectro reservado.** - Se trata de bandas de frecuencias que no han sido destinadas para su explotación por parte de algún servicio en particular, aunque sí pueden contar con la atribución a uno o más servicios de radiocomunicaciones de acuerdo con el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El espectro reservado, no es

necesariamente sinónimo de alguna omisión o negligencia de la autoridad por no ponerlo a disposición de los usuarios, sino que puede deberse a otras causas, tales como la inexistencia de un ecosistema maduro de tecnología para su aprovechamiento eficiente, no se identifican potenciales interesados en su explotación en determinado momento, deba mantenerse sin asignación para cumplir algún tratado internacional, o en su caso, se está en el proceso de estudio a nivel nacional o internacional para determinar cuál es la mejor utilización futura de determinada banda de frecuencias.

- ii. Espectro planificado. - Se trata de espectro que continúa sin ser aún asignado, pero la autoridad en la materia ya cuenta con planes para su futura asignación, así como con estudios ya avanzados y en vías de emitir al público procesos consultivos, programas, planes, emisión de regulación, o convocatorias a procesos de licitación para determinada banda; o en su caso, se está en vías de llevar a cabo la asignación directa tratándose de servicios requeridos por el gobierno, por lo que inminentemente este espectro pasará a la categoría de espectro asignado.

Generalmente, bajo un régimen de “comando y control” de gestión del espectro, las categorías descritas anteriormente, suelen ser excluyentes entre sí; es decir, una banda destinada para su uso mediante un régimen de concesión, no puede ser al mismo tiempo usada como espectro libre, o bien, el espectro planificado no puede ser accesible, al menos transitoriamente, mediante algún título habilitante, salvo para servicios que sean consistentes con la planificación de la banda de frecuencias en cuestión, lo que puede resultar en una limitante para habilitar casos novedosos en el acceso y uso del espectro.

3. Modelos de gestión de espectro compartido

Si bien los mecanismos de uso compartido del espectro tienen décadas de existir, su aplicación estaba más centrada en bandas de frecuencias para su

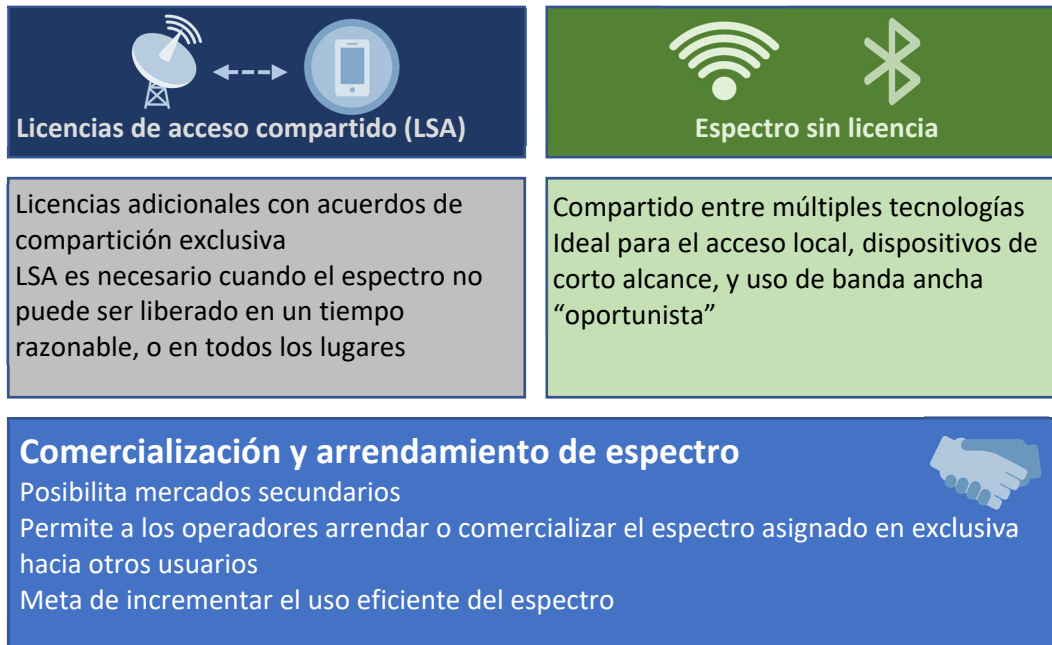
utilización sin licencia, donde las transmisiones suelen ser de baja potencia, de poca o nula movilidad, y generalmente dirigidas a aplicaciones de uso personal y en menor grado a aplicaciones comerciales e industriales. No obstante, trabajos recientes en el ámbito internacional, reconocen a los esquemas de uso compartido del espectro como una de las alternativas para aumentar el uso eficiente del espectro, tal como se indica en el “Manual de Regulación digital”, publicado en 2020 por el Banco Mundial y la UIT, el cual hace notar que⁴³:

“Los regímenes de acceso compartido son una forma de que los reguladores abran el espectro a más usuarios y faciliten el uso eficiente de las bandas del espectro. Las bandas de espectro exentas de licencia han demostrado ser un caldo de cultivo para la innovación, como lo demuestra la importancia de las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth para habilitar nuevas aplicaciones y la importancia de Wi-Fi en los regímenes de gestión del tráfico de los operadores móviles para descargar el tráfico. Sin embargo, en ocasiones, los reguladores deben gestionar el uso compartido para evitar interferencias perjudiciales, lo que hace que el acceso compartido con licencia sea una opción más atractiva para abrir espectro adicional mientras se protegen los servicios existentes.”

En tal sentido, el Manual de Regulación Digital indica de manera general las aproximaciones en las cuales ocurre la compartición del espectro, tal como se muestra en el Cuadro 4:

⁴³ Unión Internacional de Telecomunicaciones y Banco Mundial. (2020). “Digital Regulation Handbook”: Ginebra. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-TRH.1-2-2020-PDF-E.pdf

Cuadro 4. Regímenes de compartición de espectro



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones y Banco Mundial. (2020) "Digital Regulation Handbook"

A partir de la identificación de los beneficios, implicaciones y demás aspectos relacionados con la aplicación de uno o más modelos de gestión del espectro que incorporen uno o más mecanismos de compartición de este recurso, el Manual de Regulación Digital concluye, entre otras cosas, lo siguiente:

"En el contexto de la innovación tecnológica constante, una política de espectro eficaz debe ser lo suficientemente flexible como para fomentar el despliegue de diferentes servicios. A medida que se desarrollan nuevas tecnologías y aplicaciones, los reguladores deben tenerlas en cuenta al analizar el futuro de sus planes nacionales de gestión del espectro. Es necesaria una gestión eficaz de las demandas competitivas de espectro para gestionar el aumento de la demanda del tráfico de datos. También se da cuenta de los posibles beneficios para el consumidor de las nuevas tecnologías, así como de los objetivos sociales y

económicos más amplios, con el objetivo general de mejorar y ampliar el acceso a la conectividad.

Los regímenes de acceso compartido son una forma de que los reguladores abran el espectro que actualmente utilizan los servicios establecidos a nuevos usuarios. Las bandas de espectro exentas de licencia han demostrado ser un terreno fértil para la innovación, como lo demuestra la importancia de las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth para permitir nuevas aplicaciones.”⁴⁴

Ahora bien, una vez reconocidas las bondades de los modelos de gestión de espectro que incorporan mecanismos de compartición de frecuencias, es importante identificar qué tipo de mecanismos son los comúnmente adoptados para posibilitar dicha compartición.

De manera general, estos mecanismos se dividen en dos grandes rubros: Mecanismos de acceso coordinado y mecanismos de acceso no coordinado. Al respecto, Prasad y Sridhar (2013), indican que la utilización de uno u otro mecanismo dependerá de la capacidad de los sistemas para secuenciar y ordenar la demanda de acceso a los recursos para minimizar el riesgo de interferencias.⁴⁵

Dichos autores, exponen que, para el caso de los mecanismos de acceso coordinado, las reglas para la coordinación pueden ser provistas por el protocolo de comunicación empleado, la tecnología, disposiciones de carácter regulatorio, o acuerdos de comportamiento de los usuarios para compartir determinada porción del espectro. Además, frecuentemente están diseñados de forma centralizada o jerárquica. En este tipo de mecanismos de compartición de espectro, podemos encontrar tecnologías como las de Espacios en Blanco de Televisión, sistemas de acceso administrado como los servicios CBRS en la banda de 3.5 GHz en Los

⁴⁴ Ídem, p.135

⁴⁵ Prasad, R., & Sridhar, V. (2013). Moving from command and control. En I. T. (ITS) (Ed.), *24th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "Technology, Investment and Uncertainty"*. Florencia, Italia: International Telecommunications Society (ITS). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10419/88535>

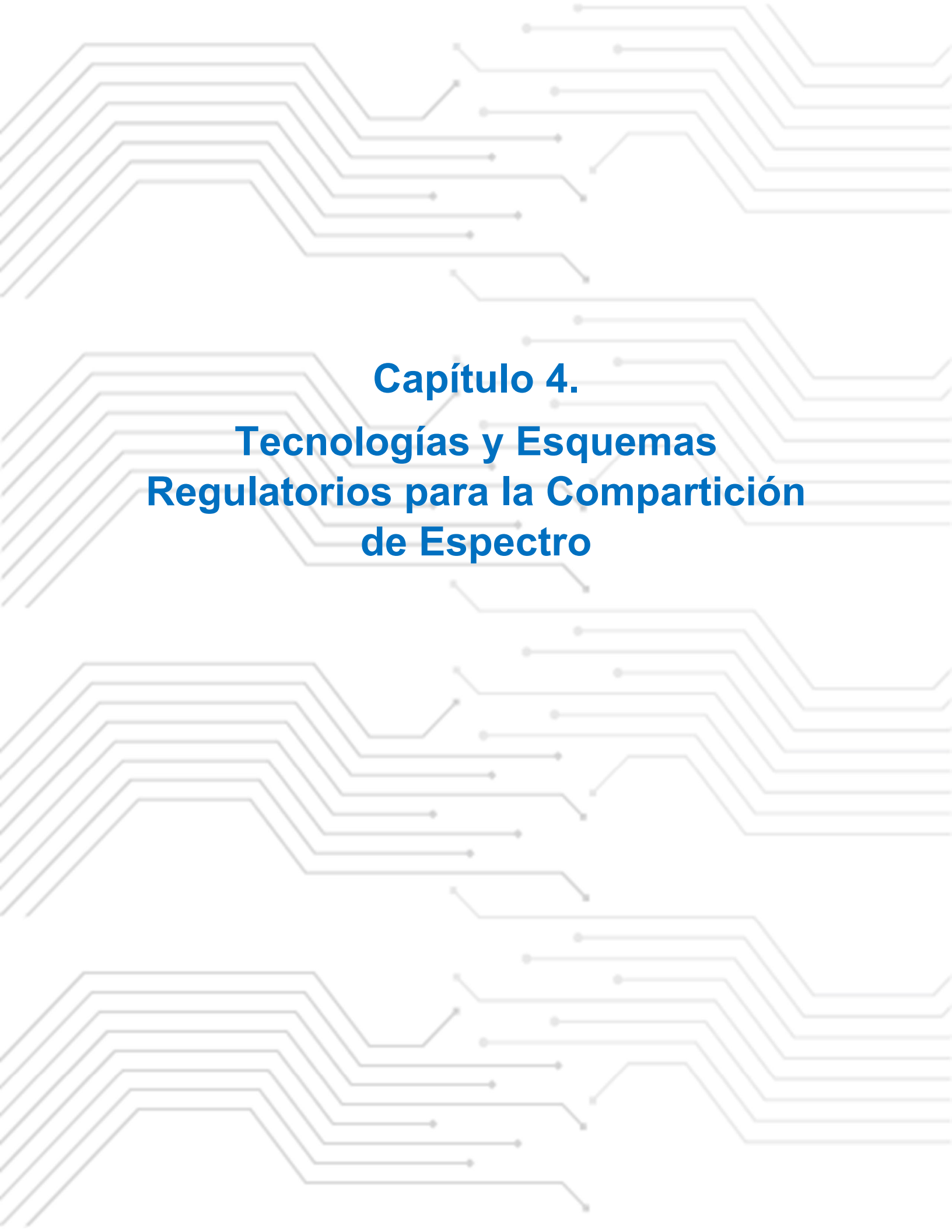
Estados Unidos. Dado que existen los medios y métodos para coordinar las emisiones, bajo este tipo de mecanismo es posible llevar a cabo transmisiones de mayor potencia respecto a las que se dan en los mecanismos no coordinados.

Por otro lado, los mecanismos de acceso no coordinado utilizan tecnologías que permiten que una señal deseada se separe del ruido de fondo o de las transmisiones no deseadas de otros usuarios, generalmente mediante técnicas de contención de transmisiones en caso de detectar ocupación de canales por parte de terceros, técnicas de espectro disperso o con ciclos de trabajo muy bajos. En general, su diseño no es capaz de evitar colisiones de las emisiones, y su arquitectura suele ser de carácter distribuido. Dado que no existen previsiones que garanticen el evitar colisiones, las transmisiones bajo este mecanismo suelen ser de baja potencia, para disminuir el riesgo de interferencias perjudiciales entre los usuarios, aunque también suelen ser de diseño más sencillo y por ello pueden ser más asequibles que los dispositivos y equipos que funcionan en los sistemas coordinados. Desde hace muchos años, en este tipo de mecanismo de compartición del espectro han florecido múltiples tecnologías y dispositivos de corto alcance, tales como *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *Zigbee*, *RFID*, entre muchas otras⁴⁶.

Como puede apreciarse, estamos actualmente en un punto en el cual los modelos para el acceso compartido al espectro se encuentran en un estado de madurez que permite su creciente adopción por parte de diversos países, constituyendo una tendencia regulatoria practicada a nivel internacional por las Administraciones que desean impulsar el uso eficiente del espectro, pavimentando el camino hacia un estado en el cual sus economías estén firmemente soportadas por la economía digital gracias al uso intensivo de las tecnologías de

⁴⁶ Han, Y., Ekici, E., Kremo, H., & Altintas, O. (2016). "Spectrum sharing methods for the coexistence of multiple RF systems: A survey". *Ad Hoc Networks*. p. 53, 53-78. Recuperado el 18 de octubre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870516302153>

telecomunicaciones inalámbricas acompañadas de mecanismos que maximicen el aprovechamiento del recurso escaso que constituye el espectro radioeléctrico.



Capítulo 4.
Tecnologías y Esquemas
Regulatorios para la Compartición
de Espectro

Capítulo 4. Tecnologías y Esquemas Regulatorios para la Compartición de Espectro

1. Introducción

Uno de los principales retos a resolver en un entorno radioeléctrico de alta intensidad de uso, es el de procurar evitar al máximo posible la existencia de interferencias perjudiciales; lo cual, dentro de un entorno de “comando y control”⁴⁷, se logra asignando parámetros específicos y estáticos en el tiempo para cada equipo o para cada tipo de servicio. Esto, comúnmente es llevado a cabo por el regulador o la autoridad en materia de telecomunicaciones, quien determina parámetros tales como límites de potencia de las emisiones, límite de emisiones no esenciales, ancho de banda a utilizar, horarios y/o zonas no permitidas para transmitir, aprobación de ubicación de los equipos transmisores y áreas de cobertura permitidas, entre otros parámetros. Con ello, se asegura que las emisiones se lleven a cabo sin interferencias perjudiciales, lo que dota de certidumbre a los usuarios de los dispositivos.

Durante mucho tiempo, este ha sido el modelo predominante de gestión del espectro radioeléctrico a nivel global, dado que en el pasado la demanda por su utilización era mucho menor que la actual, debido a las limitaciones de la tecnología y a marcos normativos no aptos para la introducción de modelos alternativos o flexibles para el uso del espectro. Sin embargo, la creciente demanda global por acceder a más recursos espectrales, ha obligado a desarrollar nuevas tecnologías que tienen como finalidad el aprovechar de mejor manera el espectro radioeléctrico, disminuyendo, o incluso eliminando, las limitaciones antes mencionadas. En el

⁴⁷ Para mayor referencia respecto a este modelo de gestión, Ver el Cuadro 3 en el capítulo 3.

presente capítulo, se describirán las tecnologías más representativas que posibilitan un uso más eficiente del espectro.

2. Radio Cognitivo

De acuerdo con la UIT, un sistema de radio cognitivo, consiste en “*Un sistema de radiocomunicaciones con tecnología que permite al sistema extraer información de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su situación interna, adaptar de manera dinámica y autónoma sus parámetros y protocolos operacionales en función de la información obtenida a fin de cumplir unos objetivos predeterminados, y extraer enseñanzas de los resultados obtenidos.*”⁴⁸

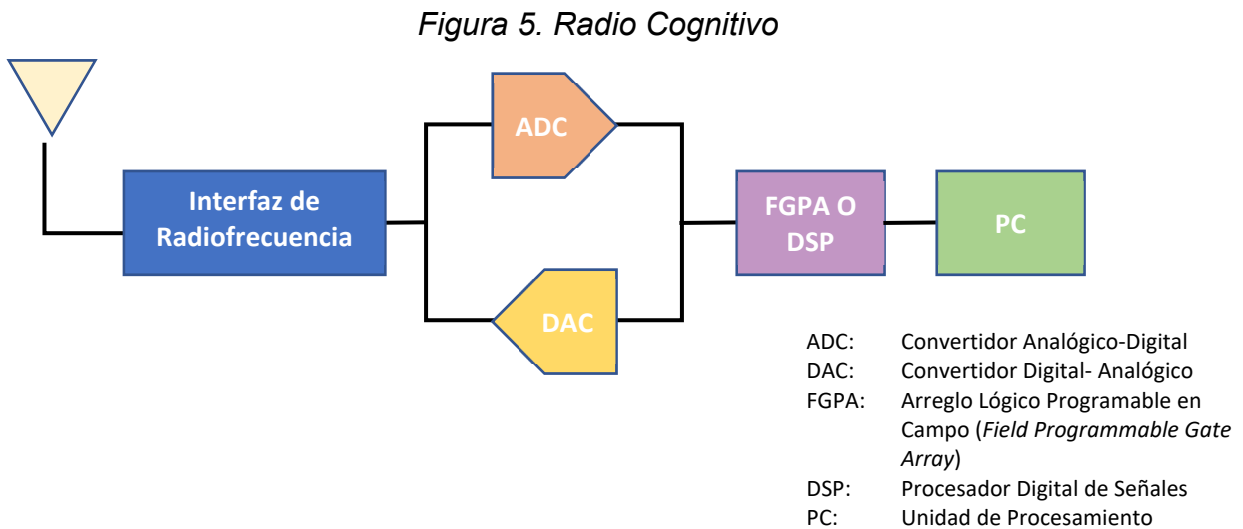
En otras palabras, los sistemas de radio cognitivo contienen procesadores que, bajo determinados algoritmos y reglas preestablecidas, les permiten ajustar su operación sin la intervención de ningún operador, donde dependiendo del entorno radioeléctrico en el que se encuentre el sistema, es capaz de identificar cuáles son los parámetros técnicos bajo los cuales puede llevar a cabo transmisiones y establecer comunicación con el receptor sin que ocurran interferencia o degradación con otros sistemas.

La tecnología de radios cognitivos surge gracias a la conjunción de diferentes innovaciones, tales como el desarrollo de las técnicas de procesamiento digital de señales (DSP, por las siglas en inglés de *Digital Signal Processing*), el desarrollo de microprocesadores con suficiente capacidad de procesamiento para aplicar los algoritmos de DSP, así como el desarrollo de métodos de aprendizaje de máquina, lógica difusa y redes neuronales⁴⁹.

⁴⁸ Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2009). “Informe UIT-R SM.2152. Definiciones de sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) y sistema radioeléctrico cognoscitivo (SRC).” Ginebra: UIT. Recuperado el 29 de marzo de 2021, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf

⁴⁹ Fette, B. A. (2006). “Cognitive Radio Technology”. (B. A. Fette, Ed.) Newnes. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-075067952-7/50002-7>

En la siguiente figura, se representa a bloques la constitución de un sistema de radio cognitivo:



Fuente: ChunSheng, X., & Min , S. (2015). *Spectrum Sharing for Wireless Communications*. p.4 (C. Springer, Ed.) Springer.

De acuerdo con ChunSheng y Min⁵⁰, un radio cognitivo típicamente contiene una interfaz de radiofrecuencia, que es donde se incorpora el transceptor que emite y recibe las señales radioeléctricas mediante una o más antenas; una etapa de conversión analógica a digital, la cual pasa posteriormente a su tratamiento en el motor de procesamiento digital o bien a través de un FGPA, que es la sección en la cual se lleva a cabo la mayor parte de las funciones de procesamiento de señales. Asimismo, estos dispositivos son gobernados por diversos algoritmos que corren en una unidad de cómputo. Gracias a este procesamiento de señales y la posibilidad de programar las principales características del radio, tales como la frecuencia, la potencia, el ancho de banda, etc. los radios cognitivos pueden analizar dinámicamente amplios rangos de espectro y adaptarse a las circunstancias necesarias, identificando segmentos o canales de espectro en los cuales les es posible transmitir.

⁵⁰ ChunSheng, X., & Min , S. (2015). *"Spectrum Sharing for Wireless Communications."* (C. Springer, Ed.) Springer.

El radio cognitivo requiere de información externa para conocer las condiciones a las cuales debe adaptarse, por lo que dicha información la puede obtener directamente de su receptor, en donde, antes de hacer cualquier transmisión, se coloca en modo de solo escucha y lleva a cabo el barrido de todo el ancho de banda en el cual podría transmitir, de forma tal que pueda reconocer cuáles canales están desocupados, qué niveles de energía está recibiendo de otras fuentes y con base en ello adaptar sus parámetros de transmisión para funcionar.

Otra posibilidad, es que el radio obtenga esta información a través de la consulta a bases de datos, las cuales brindan información al radio cognitivo sobre las características del entorno en el cual desea operar, de forma tal que esta información puede ser explotada por los algoritmos que tiene incorporados el radio cognitivo para configurar su funcionamiento.

En el informe UIT-R SM.2405 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020) se resumen las características y funcionalidades principales de un sistema de radio cognitivo, tal como se describe a continuación:

Cuadro 5. Resumen de las capacidades y características técnicas de los sistemas de radio cognitivo

Característica	Enfoque/Método	Descripción
1. Obtención de información	Enlace radioeléctrico y evaluación de la calidad de la red	Los nodos de radio cognitivo pueden controlar las características de calidad del enlace radioeléctrico y los parámetros de calidad de la red, según el tipo de aplicación.
	Escuchar un canal de control inalámbrico	Los nodos de radio cognitivo reciben información transmitida (por ejemplo, información sobre radiocomunicaciones, operadores y tecnologías disponibles) por un canal predefinido.
	Detección de espectro	Los nodos de radio cognitivo obtienen directamente información del entorno radioeléctrico, por ejemplo, sobre el espectro no utilizado. Los métodos empleados son, entre otros, el filtrado adaptado, la detección de energía y la cicloestacionaria.
	Geolocalización	Los nodos de radio cognitivo pueden obtener su localización utilizando técnicas de geolocalización
	Utilización de bases de datos	Los sistemas de radios cognitivos permiten acceder a bases de datos con información sobre, por ejemplo, las frecuencias disponibles, los

Característica	Enfoque/Método	Descripción
		niveles de potencia de transmisión permitidos y el entorno operativo.
	Colaboración	Los nodos de radio cognitivo pueden compartir entre sí la información obtenida.
2a. Toma de decisiones	Centralizado	Para la coordinación de recursos entre los nodos de radio cognitivo en situaciones en que se requiere una configuración y una optimización globales. La entidad central (gestor de recursos de red, estación de base) recopila la información del sistema de radio cognitivo y toma una decisión de optimización global.
	Distribuido	Los sistemas de radio cognitivo pueden necesitar múltiples entidades de gestión para tomar decisiones sobre su reconfiguración (por ejemplo, múltiples estaciones de base, topología en malla).
2b. Ajuste de parámetros/protocolos operativos	Radiocomunicaciones definidas por software	Los sistemas de radio cognitivo modifican de manera dinámica y autónoma sus parámetros y/o protocolos operativos por medio de la reconfiguración con el fin de alcanzar determinados objetivos predefinidos. Dichos parámetros son, entre otros: <ul style="list-style-type: none"> – Potencia de salida – Frecuencia de funcionamiento – Tipo de modulación – Tecnología de acceso radioeléctrico – Otros parámetros/protocolos
	Múltiples módulos de hardware	
3. Aprendizaje	–	Permite mejorar el funcionamiento de los sistemas de radio cognitivo gracias a la información almacenada procedente de sus medidas y resultados previos.

Fuente: UIT. (2020). Report SM.2405-1 “*Spectrum management principles, challenges and issues related to dynamic access to frequency bands by means of radio systems employing cognitive capabilities*”.

3. Radio Definido por Software

Según el Informe UIT-R SM.2152 de la UIT, un sistema de radio definido por Software (SDR, por las siglas en inglés de *Software Defined Radio*) o “radio determinado por programas informáticos”, consiste en: “*Un transmisor y/o receptor radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite fijar o modificar mediante programas informáticos los parámetros de funcionamiento de RF, incluidos, entre otros, la gama de frecuencias, el tipo de modulación o la potencia de salida, salvo*

los cambios de los parámetros de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento normal preinstalado y predeterminado de un sistema radioeléctrico con arreglo a una especificación del sistema o a una norma” ⁵¹

El SDR se apoya de algoritmos, procesadores y técnicas para el procesamiento de señales, para llevar a cabo el tratamiento de las señales, lo que sustituye en buena medida muchos de los componentes electrónicos y circuitos que estaban dedicados a funciones específicas, tales como los dedicados a filtros, etapas modulación y demodulación, mezclado, ecualización, etc.; lo cual simplifica en gran medida la construcción de los equipos, los hace menos propensos a fallas. No obstante, su complejidad se ve aumentada en lo que corresponde a software y microprocesadores, además de que las fallas que antes se debían al malfuncionamiento de un componente electrónico, ahora son sustituidas por posibles fallas (*bugs*) en el software del radio o a una vulnerabilidad de seguridad en el mismo, lo que hace muy difícil que un usuario pueda reparar el equipo por sí mismo.

En tal sentido, es posible identificar que existe una íntima relación entre los conceptos de Radio Cognitivo y Radio definido por Software, toda vez que ambos conceptos se unen en la arquitectura de tecnologías aplicadas en el uso flexible del espectro. El concepto de SDR es parte del radio cognitivo, donde un radio cognitivo contiene tecnología SDR pero que, además, añade una capa de “inteligencia” que le da la capacidad de modificar por sí mismo y de manera dinámica su funcionamiento, gracias a que cuenta con mecanismos que le permiten obtener información de las condiciones existentes en su entorno, y tomar decisiones para reprogramar sus parámetros y adaptarse al entorno de forma continua.

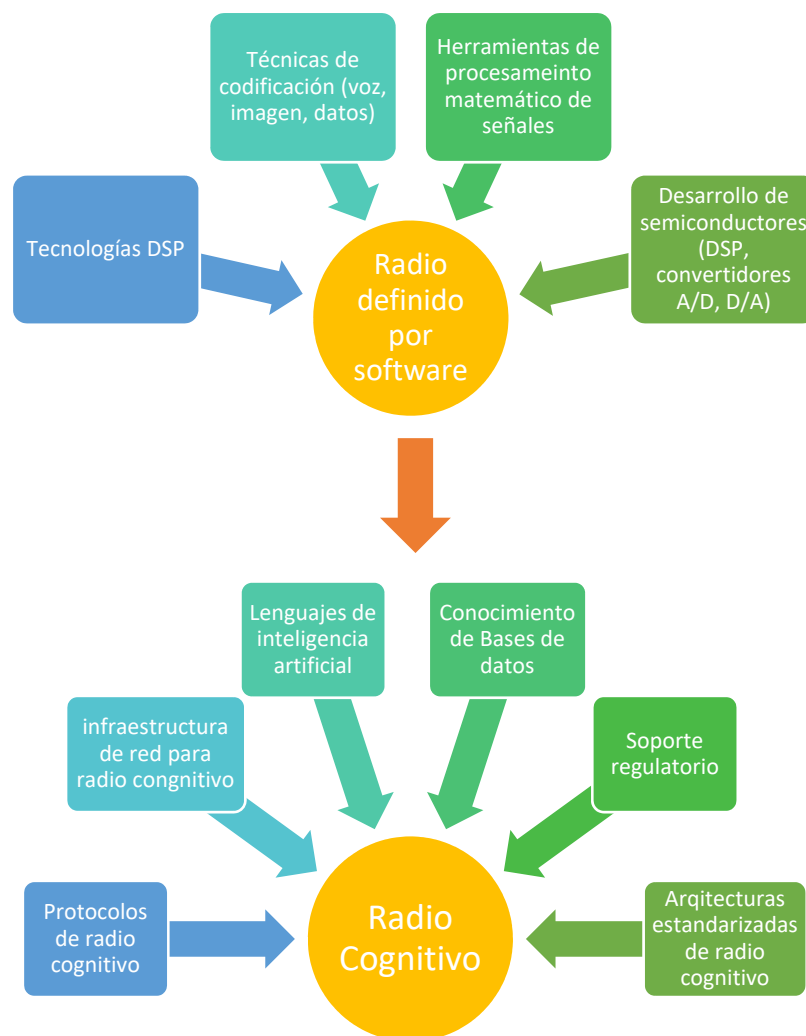
Es así, que el desarrollo tecnológico posibilita la evolución de la gestión del espectro, permitiendo pasar de un modelo estático de gestión del tipo “comando y

⁵¹ *ídem*

control” a un modelo flexible, lo que repercute en una mejora en la eficiencia en el uso del espectro al adaptar el comportamiento de los transmisores de forma dinámica al entorno radioeléctrico.

En el siguiente gráfico, es posible apreciar la sinergia que existe entre los conceptos de radio definido por software y radio cognitivo, desde el punto de vista de las tecnologías electrónicas y los desarrollos de software:

Gráfico 4. tecnologías de Radio definido por Software y Radio Cognitivo



Fuente: Fette, B. A. (2006). "Cognitive Radio Technology".

No obstante, la utilización de estas tecnologías no es perfecta, ya que su aplicación introduce ciertos riesgos y desventajas. De acuerdo con el informe UIT-

R M.2225 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2011), las tecnologías de radio cognitivo enfrentan diversos retos para su efectiva aplicación, entre los cuales se destacan:

- Técnicas de detección espectral en relación con la confiabilidad, precisión y complejidad de los distintos métodos.
- Problemas del tipo “nodo oculto” que requieren ser gestionados para garantizar la confiabilidad en la detección, el cual ocurre cuando un nodo de radio cognitivo, no puede detectar a otro nodo que está transmitiendo (posiblemente, por ejemplo, debido a condiciones de la propagación) o no detecta la presencia de un nodo que está solo en modo recepción en ese momento y asume de forma incorrecta que cierto canal de frecuencia no se encuentra en uso.
- Robustez y despliegue de los canales piloto y de control del radio cognitivo (CPC y CCC, por sus siglas en inglés).
- Mecanismos de acceso a bases de datos y su robustez (*i.e.* seguridad, método de acceso, responsabilidad de gestión, frecuencia de actualización, etc.).
- Administración de situaciones en las cuales múltiples nodos de radio cognitivo intentan acceder a los mismos recursos espectrales de forma oportunista.
- Variaciones frecuentes o rápidas en el ambiente radioeléctrico, situación geográfica y en el uso del espectro por parte de los radios cognitivos, lo cual puede tener impacto en los encabezados de señalización que requieren ser evaluados y gestionados.
- La coexistencia entre diferentes nodos de radio cognitivo y otros nodos de radio puede necesitar de soluciones de radio cognitivo que son específicas para un escenario determinado de despliegue.
- Retos relacionados con la reconfiguración de parámetros operacionales y protocolos que usan tecnologías de radio definido por software lo cuales requieren realizar ajustes de frecuencias para su operación.

Los sistemas de radio cognitivo, apoyados en tecnologías de radio definido por software, han sido usados para el desarrollo de diferentes propuestas tecnológicas que aprovechan estas funcionalidades, como se verá en el siguiente apartado.

3.1. Principales Estándares y Tecnologías para el Uso Compartido del Espectro

Con la finalidad de tener acceso a recursos espectrales de manera más eficiente, sin que necesariamente haya de por medio una asignación o autorización *ex ante* por parte del regulador para hacer uso de cierto canal de frecuencias y estar en condiciones de realizar transmisiones, se han diseñado diversos conceptos para posibilitar de manera dinámica el acceso a recursos de espectro, los cuales, dependiendo del tipo de servicios existentes y las bandas de frecuencias involucradas, incorporan políticas y metodologías bajo los cuales operan para asegurar que su implementación no causará interferencias perjudiciales a otros servicios en la misma banda de frecuencias o en bandas adyacentes, con lo que se pretende atajar de manera anticipada las preocupaciones que pudieran surgir por una parte de los usuarios que estarán sujetos a un régimen de compartición de las bandas de frecuencias que actualmente utilizan, y por otro lado atender las posibles preocupaciones por parte del regulador como responsable de asegurar que los servicios de radiocomunicaciones operen libres de interferencias perjudiciales y propiciar la prestación eficiente de los servicios.

Sin embargo, debido a las complicaciones e inconvenientes de las tecnologías de radio cognitivo que se describieron anteriormente, generalmente su implementación está controlada a través de la regulación, en la cual comúnmente se establece que el uso que hagan del espectro sea solamente de carácter secundario, dado que se privilegia y se priorizan los servicios proporcionados por los asignatarios existentes previamente, de forma tal que estos gocen de protección ante un posible caso de interferencias causadas por la operación de las tecnologías de uso compartido de espectro. Por ello, es común que el uso del espectro por parte de este tipo de tecnologías, al ser secundario, no garantice a los usuarios la

disponibilidad del servicio de forma continua o asegure altos niveles de calidad en el servicio, por lo que es frecuente que el modelo de uso del espectro por parte de este tipo tecnologías, sea bajo esquemas de uso libre o sin licencia, o en su caso, bajo modelos de “licenciamiento ligero”⁵².

3.2. Técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)

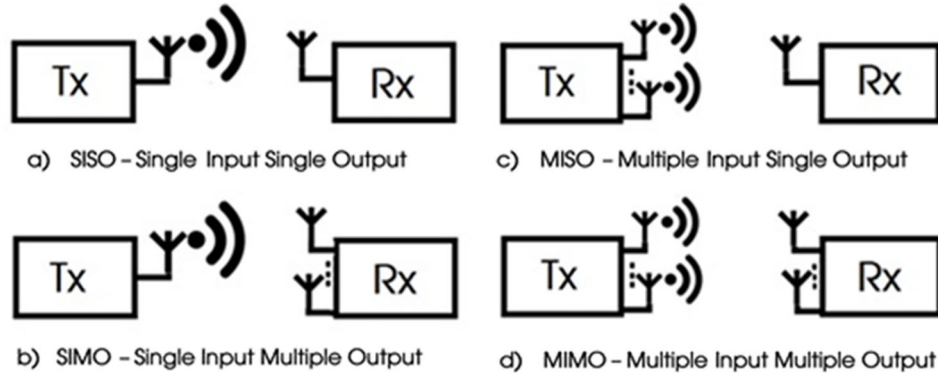
Uno de los avances tecnológicos más relevantes en los últimos años en materia de comunicaciones inalámbricas, gracias al cual es posible mejorar la eficiencia en el uso del espectro al ampliar sustantivamente la capacidad de tráfico por MHz utilizado, la cantidad posible de usuarios a atender y mejorar la calidad del enlace entre base y suscriptor, son los sistemas de antenas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)

De forma simplificada, la tecnología MIMO consiste en un arreglo de múltiples antenas que pueden configurarse de manera dinámica para formar distintos haces a partir de un mismo canal de frecuencias aplicando técnicas de modulación, diversidad espacial, polarización y modificación de fase entre cada haz, para contar con múltiples haces de transmisión usando la misma portadora de frecuencia.

La configuración más simple, es el arreglo SISO a partir del cual se pueden ir agregando elementos de antenas del lado de la transmisión, de la recepción o de ambos, para llegar a la configuración MIMO.

⁵² Electronic Communications Committee. (2009). “*ECC Report 132 Light Licensing, Licence-Exempt and Commons*”. European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. Moscú. Recuperado el 12 de octubre de 2021, de <https://docdb.cept.org/download/538>

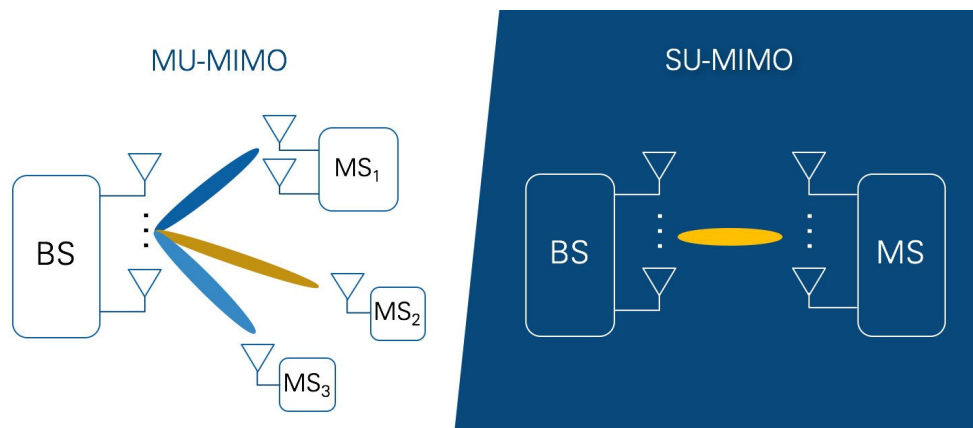
Figura 6. Arreglos de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas



Fuente: (Martínez Cruz, Castro Jaramillo, & Castañeda Alvarez, 2017)

Asimismo, los sistemas de antenas MIMO se pueden subdividir en aquellos que están diseñados para servir a un usuario (SU-MIMO) o en su caso a múltiples usuarios (MU-MIMO). El primer caso implica que es posible enviar y recibir información entre el dispositivo terminal y la base de forma simultánea, mientras que en el caso de MU-MIMO, es posible enviar y recibir simultáneamente a varios dispositivos.

Figura 7. Manejo del espectro por parte de los sistemas SU-MIMO y MU-MIMO



Fuente: (National Instruments, 2019)⁵³

⁵³ NI. "5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality". (s/f). Recuperado el 4 de abril de 2021, de <https://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/14/5g-massive-mimo-testbed--from-theory-to-reality--.html>

Cuadro 6. Comparativa de SU-MIMO y MU-MIMO

Tecnología	SU-MIMO	MU-MIMO
Principal característica	Una estación base o punto de acceso puede comunicarse con un solo usuario.	Una estación base o punto de acceso puede comunicarse con múltiples usuarios.
Objetivo	La tasa de transmisión incrementa para un solo usuario.	Mayor cantidad de usuarios en el sistema MIMO.
Beneficios	Reduce la interferencia.	Mejora en las tasas de transmisión y calidad del servicio, proporciona mayor cantidad de usuarios por multiplexaje.
Información de Estado de Canal (IEC) ⁵⁴	No se requiere IEC.	Se requiere de un perfecto conocimiento de IEC.

Fuente: (Martínez Cruz, Castro Jaramillo, & Castañeda Alvarez, 2017)

Los arreglos MIMO son aprovechados por múltiples tecnologías dadas sus ventajas en el aprovechamiento del espectro y la mejora en las capacidades y confiabilidad de las tecnologías que lo implementan. Las tecnologías más usadas, tales como como Wi-Fi, LTE y 5G, entre otras, aprovechan cotidianamente las ventajas de MIMO.

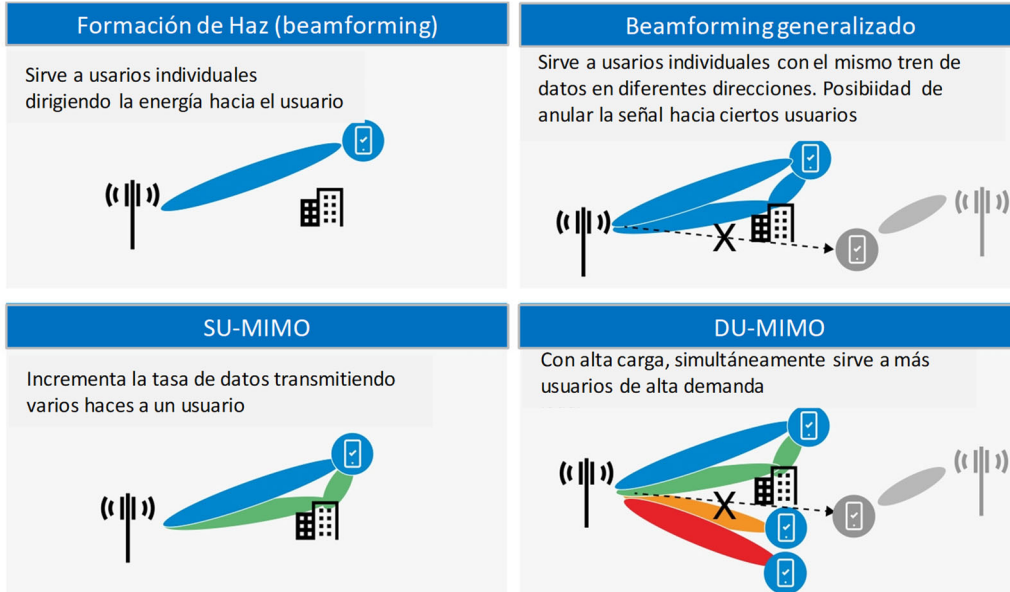
Los arreglos de antenas MIMO han evolucionado hasta nuestros días incorporando cada vez más elementos de antenas dentro de un mismo arreglo para llegar al denominado MIMO Masivo, denominado así debido a la alta cantidad de elementos de antenas contenidos en un mismo arreglo. Este tipo de arreglo fue propuesto inicialmente en el *Release 8* de las especificaciones del organismo internacional de estandarización de tecnologías de comunicaciones móviles *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, siendo en ese entonces posible MIMO de máximo 8x8 (8 antenas transmisoras y 8 antenas receptoras). No obstante, gracias a los progresos en la microelectrónica, incremento en la velocidad y capacidad de

⁵⁴ IEC se refiere a las propiedades observables del canal de comunicación, como las condiciones de dispersión, desvanecimiento y atenuación de la señal.

procesamiento de cómputo y mejoras en los procesos de fabricación, hoy es técnicamente posible tener arreglos de MIMO masivo de hasta 256 x 256. Los requisitos de diseño en estos casos, involucran la miniaturización de los elementos de antena para permitir su empaquetamiento en un factor de forma de antena práctico para su instalación en las torres de telecomunicaciones. Por otro lado, en la parte de los dispositivos de usuario, tales como los *Smartphones*, existen restricciones de consumo de energía y limitaciones físicas de forma tal que solo es posible incorporar un número limitado de antenas en comparación con las que se pueden colocar en las estaciones base.

Modificando individualmente la amplitud de la emisión de cada elemento o de un grupo de ellos, así como parámetros tales como la fase y polarización, es posible “sumar” las señales de salida del arreglo MIMO Masivo para formar haces en direcciones particulares. Entre más elementos de antena se añadan al arreglo, es posible formar mayor cantidad de haces además de que se pueden hacer más directivos y con mayor ganancia relativa, lo que permite concentrar más energía hacia el dispositivo objetivo y disminuyendo el nivel de interferencias.

Figura 8. Esquema de formación de haces con arreglos MIMO



Fuente: (Ericsson, 2018)⁵⁵

Como puede apreciarse, el modelo de compartición de espectro que se lleva a cabo mediante los arreglos MIMO, posibilita la compartición de un mismo canal de frecuencias entre múltiples usuarios, al formarse haces individuales con la misma frecuencia y al mismo tiempo, pero dirigiendo cada haz hacia una dirección distinta. Su aplicación es más recomendable en entornos de alta demanda de tráfico en donde concurren muchos usuarios que simultáneamente demandan conexión a la red, como es el caso de las grandes ciudades.

El principal reto que enfrenta la aplicación de este tipo de soluciones es que los arreglos de muchos elementos demandan de un gran espacio en las torres de telecomunicaciones, las cuales suelen estar saturadas de equipamiento en las grandes urbes. Asimismo, su costo es mucho más elevado que el de los sistemas de antenas pasivos debido a la cantidad de hardware y elementos de electrónica

⁵⁵ Ericsson. (2018). "Advanced antenna system for 5G Network Whitepaper". Recuperado el 04 de abril de 2021 de: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/advanced-antenna-systems-for-5g-networks>

que incorporan estos equipos y demandas de mayor cantidad de energía. No obstante, dependiendo del análisis costo – beneficio que los operadores y fabricantes realicen, pueden ser una alternativa muy útil para mitigar problemas de saturación en las redes u ofrecer productos y servicios más atractivos a los usuarios con mejores prestaciones tales como una mejor calidad de la señal y mayores velocidades de carga y descarga de datos.

Figura 9. Ejemplo de arreglo de antenas MIMO Masivo



- Marca: Nokia
- Modelo: Aircscale MAA 64T64R, No: 474155A
- Cantidad de Tx/Rx: 64/64
- Cantidad de elementos de antena: 8 (Horizontal) x 8 (Vertical)
- Soporta Beamforming
- Tipo de tecnología: TD-LTE
- Banda de frecuencias: 2496 - 2690 MHz (Banda41 de 3GPP)
- Ganancia: 24 dBi
- PIRE: 74.8 dBm
- Rango de direccionamiento de haz: +/- 60 grados (horizontal) y +/- 20 grados (vertical)

Fuente: (RF Wireless World, s/f)⁵⁶

3.3. Tecnologías de Acceso Licenciado Asistido (LAA)

De acuerdo con Ericsson⁵⁷, las tecnologías de Acceso Licenciado Asistido, o “LAA”, son tecnologías que fueron diseñadas para soportar la operación de sistemas de banda ancha que operan primariamente en las bandas típicas concesionadas para la provisión de servicios, las cuales toman ventaja de la utilización adicional de

⁵⁶ RF Wireless World. (s/f). “5G Massive MIMO Antenna Array, 5G NR Base Station Antenna Manufacturers”. Recuperado el 04 de abril de 2021, de: <https://www.rfwireless-world.com/Vendors/5G-Massive-MIMO-Antenna-Array-manufacturers.html>

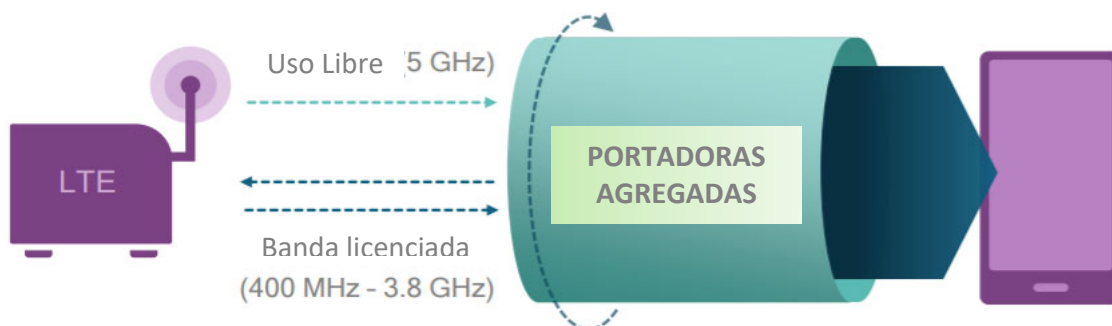
⁵⁷ Koorapaty, H. (Ericsson, Editor). (2020). “3GPP technologies in unlicensed spectrum: A contributor to the common good.” Recuperado el 31 de marzo de 2021, de: <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/9/3gpp-technologies-unlicensed-spectrum>

espectro en bandas no licenciadas o de uso libre, para agregar una portadora adicional para la descarga hacia el dispositivo de usuario o en su caso para incrementar la capacidad de subida.

La tecnología LAA, según Ericsson, se empezó a aplicar a partir de 2016 en los sistemas de banda ancha de cuarta generación, en donde el organismo de estandarización de tecnologías 3GPP, responsable del desarrollo de los estándares de tecnologías de banda ancha móvil de mayor adopción global, como es el caso de la tecnología LTE ha incorporado la tecnología LAA a partir de la versión de su estándar versión (*Release*) 13; de manera tal que la tecnología LTE es capaz de usar el espectro sin licencia en la banda de 5GHz que comúnmente ha sido usada de forma intensiva por tecnologías Wi-Fi, en conjunto con las bandas de frecuencia típicamente utilizadas por la tecnología LTE.

Este modelo de operación, otorga la posibilidad de reducir la congestión en el espectro usado para la descarga de datos hacia la terminal de usuario, al distribuirse el tráfico entre la banda de frecuencias concesionada al operador y la banda de frecuencias de uso libre, además de incrementar la capacidad y tasa de transmisión de datos.

Figura 10. Operación en modo de descarga suplementaria de la tecnología LAA

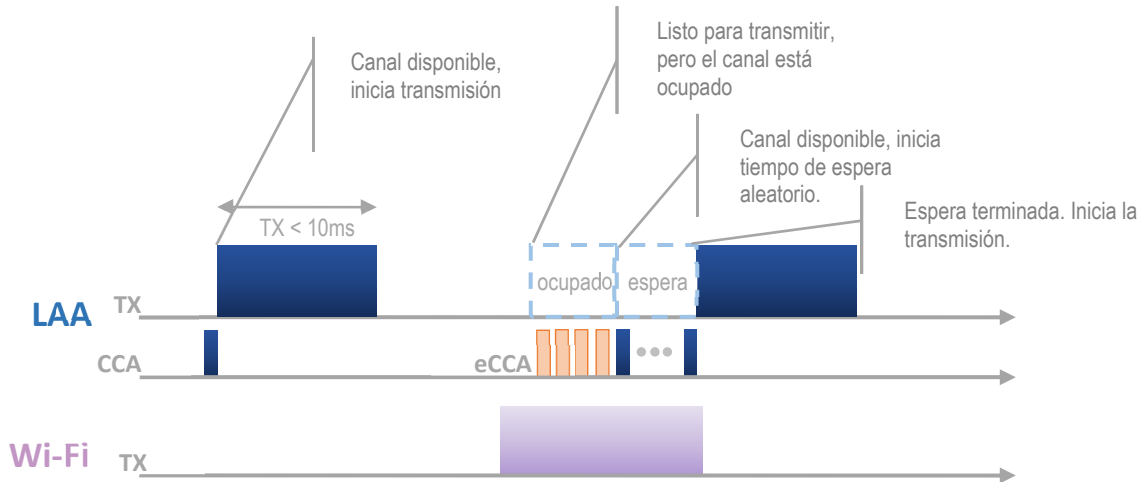


Fuente: Qualcomm

No obstante, este esquema de utilización de espectro plantea retos importantes debido a que la banda de uso libre de 5GHz es utilizada intensivamente por tecnologías Wi-Fi, por lo que en el diseño de la tecnología LAA se ha requerido de

la incorporación de protocolos que procuren evitar interferencias entre los dispositivos Wi-Fi y LTE que operan en la misma banda.

Figura 11. Uso del espectro libre por parte de LAA



Fuente: Qualcomm

Para ello, LAA incorpora técnicas de detección de portadoras o de “escucha antes de hablar” (LBT, por las siglas en inglés de *“Listen Before Talk”*). De acuerdo con las especificaciones del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés) ETSI EN 300 328, (European Telecommunications Standards Institute, 2019), y ETSI EN 301 893 (European Telecommunications Standards Institute, 2017), este procedimiento consiste en evaluar la disponibilidad de algún canal de frecuencia antes de llevar a cabo una emisión, mediante técnicas de detección de energía o de detección de portadoras. Estas técnicas son conocidas como mecanismos CCA (de las siglas en inglés de *“Clear Channel Assesment”*), los cuales evalúan los posibles canales disponibles (“escuchar”) antes de llevar cabo cualquier transmisión (“hablar”). Este procedimiento se lleva a cabo en secuencias de salto de canales que detectan, en cuestión de milisegundos, los canales disponibles para transmitir. En el cuadro a continuación, se muestra una comparativa de las tecnologías de detección aplicadas actualmente, según el informe SM.2405 de la UIT:

Cuadro 7. Tecnologías de detección de espectro de banda ancha

Tecnología de detección de banda ancha [2]		Ventajas	Inconvenientes
Detección de banda ancha de Nyquist	ADC estándar	<ul style="list-style-type: none"> – Estructura sencilla 	<ul style="list-style-type: none"> – Alta velocidad de muestreo – Alto coste computacional
	Muestreo del banco de filtros	<ul style="list-style-type: none"> – Baja velocidad de muestreo – Elevada gama dinámica 	<ul style="list-style-type: none"> – Gran complejidad de implementación
Detección de banda ancha por debajo del límite de Nyquist	Sensor de compresión	<ul style="list-style-type: none"> – Baja velocidad de muestreo – Bajo coste de la adquisición de señal 	<ul style="list-style-type: none"> – Sensible a la discordancia de modelos
	Muestreo multicanal por debajo del límite de Nyquist	<ul style="list-style-type: none"> – Baja velocidad de muestreo – Sólida ante la discordancia de modelos 	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere múltiples canales de muestreo
Selección dinámica de frecuencias	Detección de interferencias	<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona protección adecuada a sistemas de radares 	<ul style="list-style-type: none"> - requiere aplicarse a todos los tipos de dispositivos, independientemente del tipo de comunicación que exista entre ellos

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020)

Las principales críticas existentes hacia este modelo, es que potencialmente se “canibaliza” el espectro entre diferentes tecnologías, principalmente con las

tecnologías Wi-Fi⁵⁸, en menoscabo de la operación eficiente de este ecosistema. Asimismo, en zonas de alta densidad de usuarios Wi-Fi, como es el caso de las grandes ciudades, previsiblemente enfrentará una menor disponibilidad de canales debido a que ya existe una amplia base instalada de dispositivos Wi-Fi previo a la entrada en operación de LAA, por lo que su beneficio es más palpable en zonas en las cuales hay poco uso del espectro por parte de redes Wi-Fi.

No obstante, la tecnología LAA ha evolucionado con cada *Release* de especificaciones del 3GPP, para añadir funcionalidades y optimizar la utilización del espectro libre por parte de las tecnologías de banda ancha, siendo la propuesta más reciente el estándar “*New Radio Unlicensed*” (NR-U, por sus siglas en inglés) consistente en la operación de tecnologías 5G soportadas en la utilización de bandas de uso libre, en convivencia con las demás tecnologías que operen en la misma banda de frecuencias, como es el caso de las tecnologías Wi-Fi en la banda de 5 GHz⁵⁹.

Cuadro 8. Evolución de la tecnología LAA

	LAA (LTE)	eLAA (LTE)	feLAA(LTE)	NR-U (5G NR)
<i>Release</i> 3GPP	Rel-13	Rel-14	Rel-15	Rel-16
Descarga en espectro uso libre	Si	Si	Si	Si
Subida en espectro uso libre (bajo programa)	No	Si	Si	Si
Subida en espectro uso libre (autónoma)	No	No	Si	Si
Operación autónoma en uso libre	No	No	No	Si

LAA: *Licensed Assisted Access*
eLAA: *Enhanced LAA*

feLAA: *Further Enhanced LAA*
NR-U: *New Radio Unlicensed*

Fuente: (Koorapaty, 2020)

⁵⁸ Broadcom. (2016). “*Unlicensed LTE Interference to Wi-Fi*”. Recuperado el 2021 de octubre de 2021, de FCC: <https://ecfsapi.fcc.gov/file/60001534034.pdf>

⁵⁹ Koorapaty, H. (Ericsson, Editor). (2020). “*3GPP technologies in unlicensed spectrum: A contributor to the common good*”. Recuperado el 31 de marzo de 2021, de: <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/9/3gpp-technologies-unlicensed-spectrum>

A partir del modelo LAA de acceso al espectro, se han desarrollado múltiples tecnologías cuya propuesta está basada en el aprovechamiento oportunista de bandas de frecuencia para su uso sin licencia, que pretenden convivir con las demás tecnologías que hacen uso de este espectro, como Wi-Fi, entre otras. Algunas de ellas son de estándar abierto y otras son desarrollos propietarios, presentan características y prestaciones que las hacen más apropiadas para determinados tipos de aplicaciones, como pudieran ser las aplicaciones de Internet de las Cosas y acceso de banda ancha.

De conformidad con el estudio “Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro”, los principales desarrollos de tecnologías basadas en LAA son los siguientes⁶⁰:

Cuadro 9. Tecnologías basadas en LAA

Característica	Tecnología			
	LTE-U	LAA	LWA	MulteFire
Organismo de estandarización	LTE-U Forum	3GPP	3GPP	MulteFire Alliance
Bandas de frecuencia de operación	5 GHz	5 GHz	2.5 GHz 5 GHz 60 GHz	2.4 GHz 1.9 GHz 5 GHz
Estándar	Diseño basado en los <i>Releases</i> 10, 11 y 12 del 3GPP	<i>Release</i> 13 y <i>Release</i> 14	<i>Release</i> 13 y <i>Release</i> 14	<i>Release</i> 1.0 y <i>Release</i> 1.1
Países en los que opera con base en su regulación actual	China, Corea del Sur y Estados Unidos	Unión Europea y Japón	Todos	Unión Europea y Japón
Mecanismos de coexistencia	Selección de canal	LBT	LBT (similar a Wi-Fi)	LBT

⁶⁰ Martínez, G., Castro, R. C., & Castañeda, R. (2017). Instituto Federal de Telecomunicaciones. “Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro”. Ciudad de México, Recuperado el 31 de marzo de 2021, de: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/tecnologiasdeaccesodinamicoyusocompartidodelospectro_0.pdf

Tecnología		LTE-U	LAA	LWA	MulteFire
Característica					
	CSAT SDL oportunista				
Costo de implementación	Alta, es necesario nuevo hardware, tanto para las estaciones base como para los equipos terminales.	Media, se requiere de una actualización de software en la red LTE, así como nuevos equipos terminales.	Baja, solo se requiere una configuración de software en la red LTE.	Alta, es necesario nuevo hardware, tanto para las estaciones base como para los equipos terminales.	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Permite utilizar bandas de frecuencia de uso libre para descargar tráfico de la red LTE. 	<ul style="list-style-type: none"> Permite utilizar bandas de frecuencia de uso libre para descargar tráfico de la red LTE. Está estandarizada. Puede implementar CA en el enlace de subida y en el enlace de bajada. Para implementarse no necesita de infraestructura adicional. 	<ul style="list-style-type: none"> Permite utilizar bandas de frecuencia de uso libre para descargar tráfico de la red LTE. Está estandarizada. No requiere infraestructura adicional ni equipos terminales específicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza en su totalidad espectro en bandas de frecuencia de uso libre para operar. 	
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> No está estandarizada. Se requiere de nueva infraestructura para su implementación, así como de nuevos equipos terminales. Requiere que el operador cuente con espectro adicional concesionado. Sus mecanismos de coexistencia son insuficientes 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario construir nuevos equipos terminales para su operación. Requiere que el operador cuente con espectro adicional concesionado. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere que el operador cuente con espectro concesionado. 	<ul style="list-style-type: none"> No está estandarizada. Se requiere de nueva infraestructura para su implementación, así como de nuevos equipos terminales. 	

Tecnología	LTE-U	LAA	LWA	MulteFire
Característica	para garantizar una compartición del espectro equitativa con otras tecnologías.			

Fuente:” (Martínez Cruz, Castro Jaramillo, & Castañeda Alvarez, 2017)

3.4. Sistemas Licenciados de Acceso compartido (LSA)

De Acuerdo con la especificación técnica ETSI TS 103 154, Un sistema LSA, “comprende uno o más titulares existentes, una o más redes fijas o móviles MFCN (licenciarios LSA) y los medios para habilitar la coordinación entre los operadores existentes y los licenciarios LSA, de modo que estos últimos puedan desplegar sus redes sin interferencia perjudicial.” ⁶¹

A diferencia de las tecnologías LAA, las cuales soportan su operación combinando bandas licenciadas con bandas de uso libre, los sistemas LSA comprenden tecnologías que son capaces de coordinar la operación de dos redes o servicios distintos dentro de una misma banda de frecuencias licenciada.

Para ello, los sistemas LSA dependen de una configuración específica en la cual la regulación juega un papel fundamental debido a que para el óptimo funcionamiento de un sistema LSA, deben quedar claramente establecidos los roles de los distintos actores que concurren para obtener acceso al espectro, los cuales en todos los casos son sujetos a obtener una licencia por parte del regulador; de forma tal que se asegura la convivencia entre los diversos licenciarios de la banda,

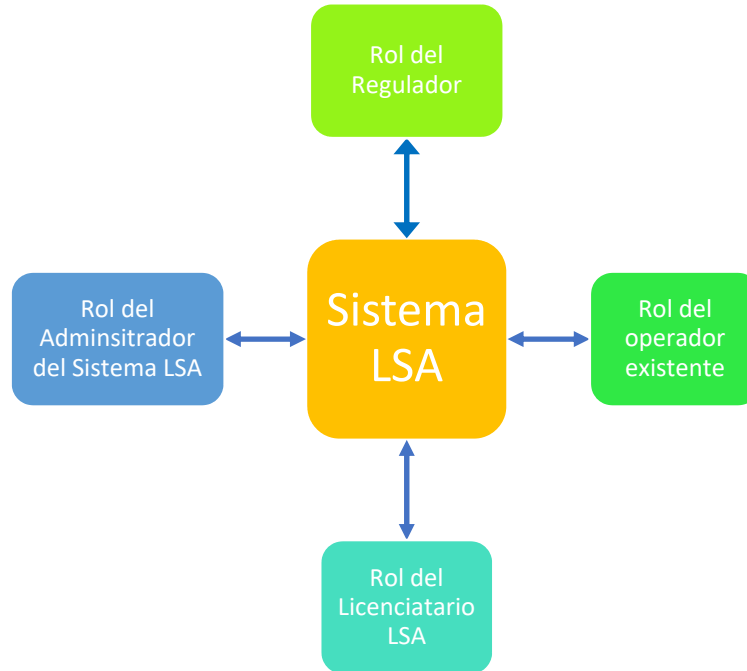
⁶¹ European Telecommunications Standards Institute. (2014). “ETSI TS 103 154: Reconfigurable Radio Systems (RRS); System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band under Licensed Shared Access (LSA)”. Francia. Recuperado el 31 de marzo de 2021, de: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103100_103199/103154/01.01.01_60/ts_103154v010101p.pdf

especificando niveles de prioridad de acceso y uso del espectro entre los concurrentes, zonas geográficas donde se autoriza la compartición, y los segmentos específicos de espectro sujetos a las reglas definidas por el regulador para la operación del sistema LSA; todo ello gracias a que existe un repositorio con la información relevante de las redes existentes en las bandas en las cuales tendrá lugar la compartición, la cual es consultada por los equipos de los operadores LSA para determinar de forma automática las condiciones específicas bajo las cuales pueden acceder al espectro.

Bajo este esquema de compartición de espectro, un operador requeriría de la autorización previa del regulador para acceder al espectro que está en “posesión” de otro operador existente, lo cual le provee de ciertos derechos para acceder al sistema LSA y hacer uso del espectro. En tal sentido, el sistema LSA proporciona las funcionalidades para asegurar la coexistencia entre el operador existente y el (los) operador(es) LSA.

A nivel conceptual, la especificación técnica ETSI TS 103 154 define los roles principales que integran un sistema LSA:

Gráfico 5. Roles en un sistema LSA



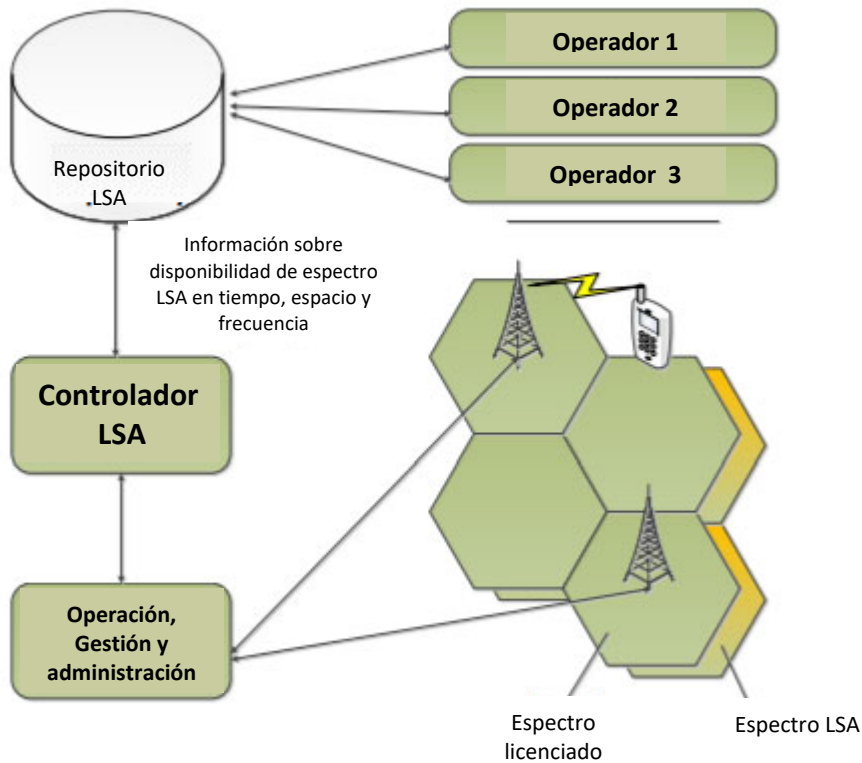
Fuente: Especificación Técnica ETSI TS 103 154 (European Telecommunications Standards Institute, 2014)

Dos roles pueden ser desempeñados por una misma entidad. Por ejemplo, el Regulador puede además tomar el rol del administrador del sistema LSA y todos los roles interactúan entre sí a través del sistema LSA.

La arquitectura de los sistemas LSA, de acuerdo con el *White Paper* de Intel: “*Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS)*”, se pueden esquematizar de la siguiente manera⁶²:

⁶² Dominik Mueck, M., Srikanteswara, S., & Badic, B. White Paper, Intel. (2015). “*Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS)*”. Recuperado el 31 de marzo de 2021, de: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/spectrum-sharing-lsa-sas-paper.pdf>

Figura 12. Arquitectura de un sistema LSA



Fuente: Intel

De manera general, los sistemas identificados como LSA, han sido originalmente desplegados en Europa, señaladamente en la banda 2.3 – 2.4 GHz, en la cual funcionan históricamente operadores de redes de servicios militares y dispositivos profesionales relacionados con la producción audiovisual noticiosa en vivo (cámaras de TV), y conviven con sistemas de acceso de banda ancha móvil con tecnología LTE; gracias a lo cual se ha logrado hacer un uso más eficiente del espectro en esta banda debido a la implementación de este modelo de compartición de espectro⁶³.

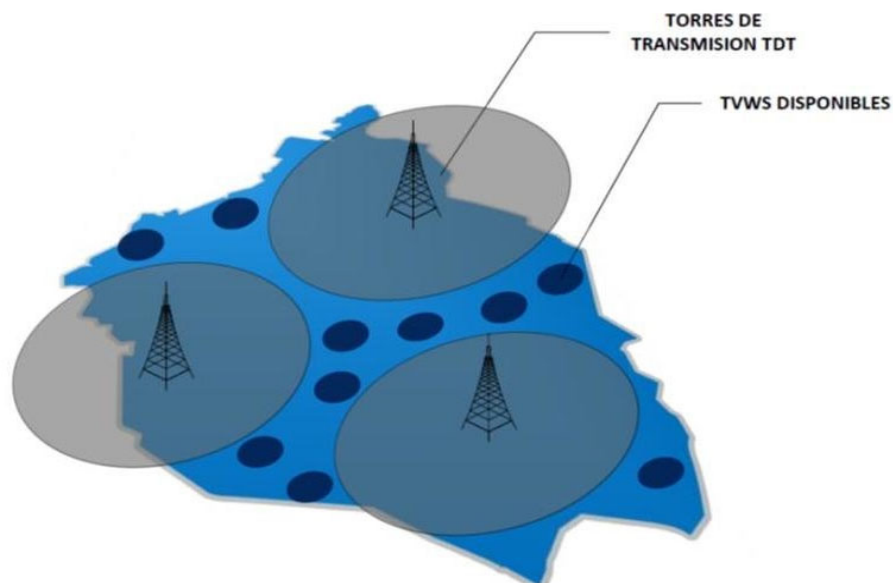
Como se puede apreciar, este tipo de sistemas ocurre en dos niveles de operación dentro de una misma banda de frecuencias: el nivel de operador

⁶³ Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT). (2021). "Spectrum sharing - LSA Implementation". Recuperado el 13 de octubre de 2021, de: <https://www.cept.org/ecc/topics/lsa-implementation>

existente, que generalmente cuenta con mayor prioridad por haber sido el primero en obtener una licencia o debido a que se trata de servicios estratégicos (como los servicios militares, por ejemplo), y el nivel del operador LSA, que accede al espectro en menor orden de prioridad por ser el que accedió con posterioridad a una licencia en la misma banda y/o sus servicios tienen un orden de prioridad menor con respecto a los operadores existentes. No obstante, ambos niveles gozan de derechos de uso del espectro en exclusividad bajo las reglas predefinidas por el sistema LSA y las condiciones de las licencias LSA otorgadas.

Otro modelo de compartición de espectro en el que una banda de frecuencias licenciada es compartida con otros usuarios, es el conocido como “espacios en blanco de Televisión”, (TVWS, por las siglas en inglés de *TV White Spaces*) que ha sido implementado por diversos países con el fin de brindar el acceso al espectro que está destinado para la provisión de servicios de televisión radiodifundida en la banda UHF en aquellas zonas en las cuales las señales de televisión no están presentes, de ahí el nombre de “espacios en blanco”.

Figura 13. Concepto de TVWS

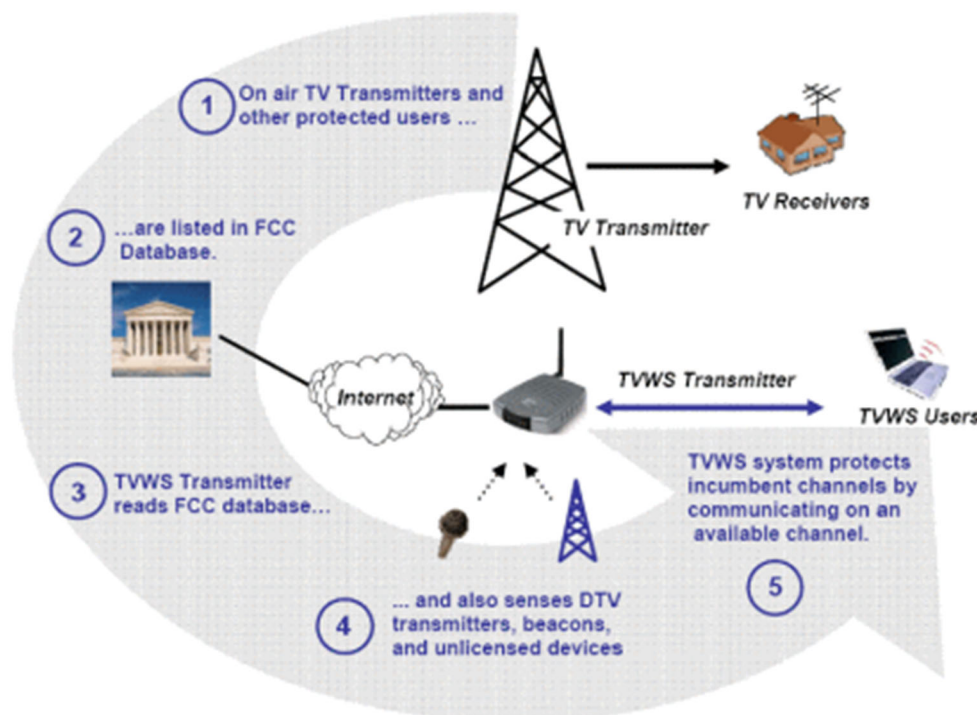


Fuente: (Cuevas, 2017)⁶⁴

⁶⁴ Cuevas, J. (2017). “Espacios blancos de la TV para zonas rurales”. CPRLATAM Conference. Cartagena Colombia. Recuperado el 04 de abril de 2021, de: https://www.researchgate.net/publication/318279621_Espacios_blanco_de_la_TV_para_zonas_rurales

Los dispositivos TVWS operan bajo el principio de no causar interferencias perjudiciales a los servicios de TV y no pueden reclamar protección en contra de éstos, para lo cual, los sistemas de TVWS dependen de bases de datos que contienen la geolocalización de los equipos TVWS y los parámetros de las estaciones de TV que deben ser protegidas⁶⁵. Además, los dispositivos TVWS cuentan con capacidades radio cognitivo para identificar y conocer la ocupación de la banda de frecuencias de interés antes de realizar transmisiones. Gracias a ello, es posible prestar servicios de banda ancha sobre todo en zonas en las cuales es escasa la provisión de servicios de televisión, tales como las zonas rurales o con orografía accidentada, donde es más posible identificar “espacios” en los cuales se puede usar parte del espectro destinado originalmente a los servicios de TV.

Figura 14. Esquema simplificado de operación de TVWS



Fuente: (D. Borth, 2008)⁶⁶

⁶⁵ National Archives. (2021). “Code of Federal Regulations, 47 CFR Part 15 Subpart H -- White Space Devices”. Recuperado el 13 de octubre de 2021, de: <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15/subpart-H>

⁶⁶ D. Borth, R. E. (2008). “Considerations for Successful Cognitive Radio Systems in US TV White Space. 2008 3rd IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks”. Chicago: IEEE. doi: 10.1109/DYSPAN.2008.61

Los estándares tecnológicos en los cuales se soporta la operación de la tecnología TVWS son los estándares, 802.11af⁶⁷ y 802.22⁶⁸, ambos desarrollados por el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE, por las siglas en inglés de *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), así como el estándar ETSI EN 301 598⁶⁹, aplicable para la implementación de TVWS en Europa.

3.5. Sistemas de Acceso al Espectro (SAS)

Los sistemas denominados como Sistemas de Acceso al Espectro (SAS) son esencialmente similares a los sistemas LSA en el sentido de que están diseñados para compartir el espectro de una misma banda de frecuencias entre distintos servicios u operadores mediante la definición de reglas y condiciones de operación para asegurar la convivencia entre quienes concurren en el sistema. No obstante, los sistemas SAS van más allá en cuanto a que su diseño está pensado para asegurar la convivencia con operadores existentes que no necesariamente proporcionan de forma *ex ante* la información sobre sus operaciones a la base de datos del sistema; además de que es posible contar con más de dos tipos o niveles de prioridad para acceder al espectro en una banda de frecuencias determinada.

Asimismo, los sistemas SAS integran funcionalidades similares a las de los sistemas LAA, en el sentido de que pueden brindar acceso a dispositivos que usan el espectro bajo un modelo similar al del uso libre, es decir, que no requieren de una licencia específica otorgada por el regulador para acceder al espectro. Sin embargo, es indispensable que estos dispositivos formen parte íntegra del sistema SAS para

⁶⁷ A. B. Flores, R. E. (2013). “IEEE 802.11af: a standard for TV white space spectrum sharing”. IEEE Communications Magazine, 51(10), 92-100. doi: 10.1109/MCOM.2013.6619571

⁶⁸ C. Cordeiro, K. C. (2005). “IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios”. First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, (págs. 328-337). Baltimore. doi:10.1109/DYSPAN.2005.1542649

⁶⁹ European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2014). “ETSI EN 301 598 White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive”. Recuperado el 04 de abril de 2021 de: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301598/01.01.01_60/en_301598v010101p.pdf

que sean “gobernados” por las directrices de operación y priorización de acceso al espectro, por lo que no operan de forma autónoma en ningún momento.

A continuación, se muestra una comparativa simple de los diferentes niveles de acceso que se hacen disponibles por parte de cada tipo de sistema:

Cuadro 10. Comparativa de sistemas LSA y SAS

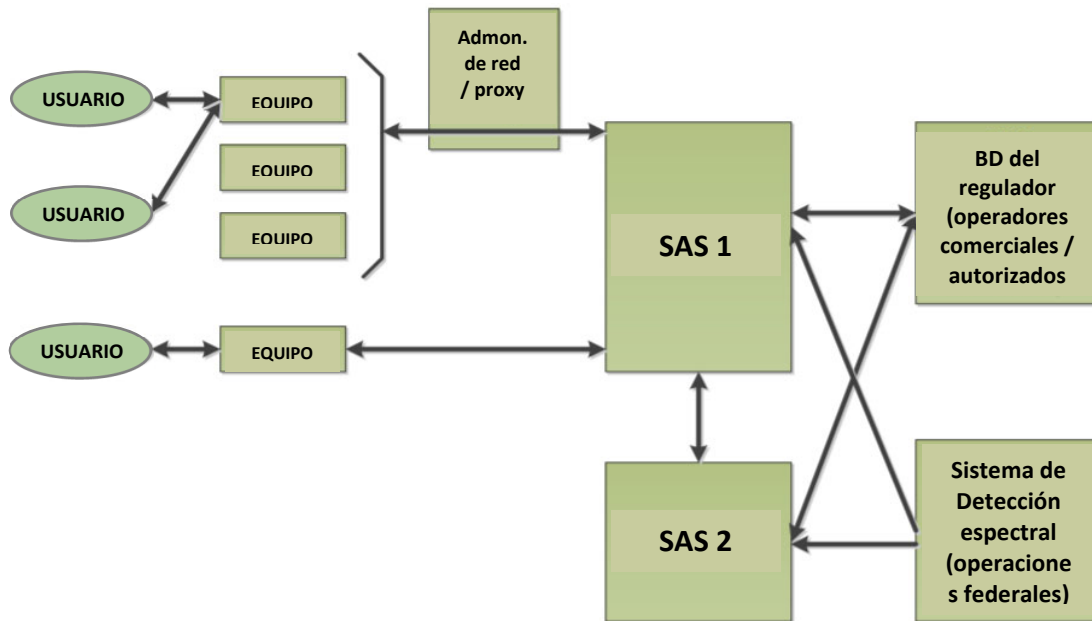
Nivel de derechos de uso	SAS	LSA
Acceso Prioritario	Sistemas Existentes	Sistemas Existentes
Acceso licenciado	Acceso prioritario	Licencia LSA
Acceso oportunista	Acceso general autorizado	

Fuente: (Kalliovaara, Jokela, Kokkinen , & Paavola, 2018)

Adicionalmente, existen situaciones en las que ciertos usuarios del espectro no aportan información previa a la base de datos del sistema SAS, debido a que se tratan de servicios de seguridad nacional de carácter confidencial, como los relacionados con operaciones militares que funcionan por ejemplo en embarcaciones, aeronaves o instalaciones secretas, por lo que no es viable incorporar su información técnica a la base de datos, como por ejemplo la ubicación de tales emisiones o los canales específicos en los cuales operan. Debido a ello, los sistemas SAS requieren de capacidades y funcionalidades adicionales para coordinar adecuadamente las operaciones de los diferentes usuarios, en donde es necesario incorporar tecnologías de detección espectral para dotar de información sobre el uso del espectro en tiempo real a la base de datos del sistema SAS y se lleven a cabo las decisiones sobre qué cantidad de espectro, en qué zonas y durante cuánto tiempo, está disponible para usarse por parte de los usuarios de menor orden

de prioridad. Asimismo, los sistemas SAS pueden incorporar bases de datos de distintos tipos de usuarios. Por ejemplo, una base de datos puede contener los datos de los servicios operados por el gobierno y otra base de datos puede ser la correspondiente a los usos de carácter civil.

Gráfico 6. Arquitectura de un sistema SAS

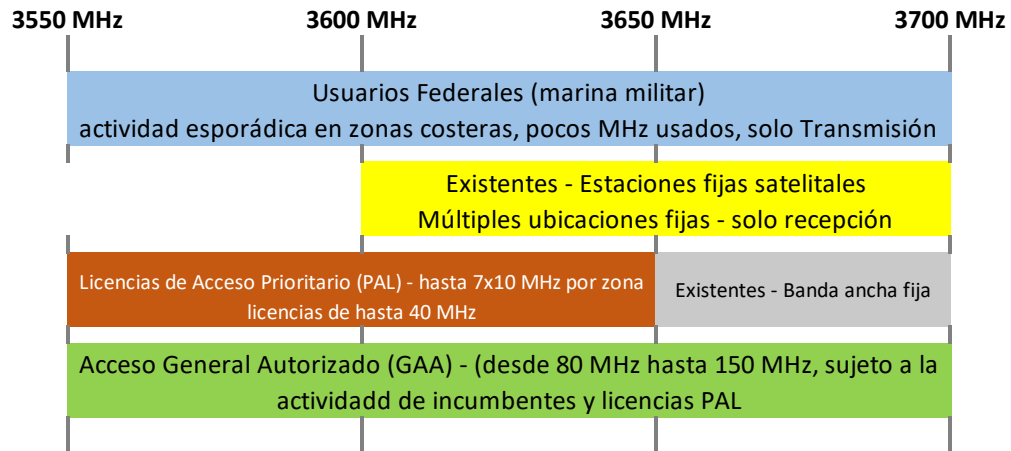


Fuente: Intel

El ejemplo más representativo de aplicación de este tipo de modelo de acceso al espectro es el implementado en los Estados Unidos de América, país en el cual se estableció a partir del año 2015 una nueva regulación para el uso compartido de la banda 3550-3700 MHz, creando las reglas para la adopción de un modelo de acceso de tres niveles de prioridad para la convivencia entre sistemas del gobierno federal, concesionarios comerciales y dispositivos para uso sin licencia. (Federal Communications Commission, 2020)⁷⁰.

⁷⁰ Federal Communications Commission. (2020). "3.5 GHz Band Overview". Recuperado el 03 de abril de 2021 de: <https://www.fcc.gov/35-ghz-band-overview>

Gráfico 7. Compartición de la banda 3550-3700 MHz en Estados Unidos



Fuente: “CBRS: What Is It and How Does It Work?” Connectivity Wireless, 5 Sept. 2019, <https://connectivitywireless.com/cbrs/>.

La banda de frecuencias fue identificada por la *Federal Communications Commission* (FCC) de Estados Unidos como banda CBRS (de las siglas en inglés de *Citizen’s Broadband Radio Service*) con los siguientes tipos de usuarios que comparten la banda de frecuencias:

- Nivel 1. Acceso Primario. - Comprende a los usuarios del gobierno federal en la banda 3550 -3700 MHz, estaciones terrenas del servicio fijo por satélite (sentido espacio - Tierra) y, por un plazo limitado, licencias de redes banda ancha inalámbrica legadas en la banda 3650-3700 MHz. Los usuarios de Acceso Primario reciben protección contra interferencias perjudiciales provenientes de los licenciatarios de Acceso Prioritario y de los usuarios de Acceso General Autorizado.⁷¹
- Nivel 2. Acceso Prioritario. - Se integra por Licencias de Acceso Prioritario (PAL, por las siglas en inglés de *Priority Access Licenses*), las cuales se otorgan por condados mediante un proceso competitivo de subasta. Cada

⁷¹ Federal Communications Commission. (2020). “3.5 GHz Band Overview”. Recuperado el 03 de abril de 2021 de: <https://www.fcc.gov/35-ghz-band-overview>

PAL es un canal de 10 MHz dentro de la banda 3550-3650 MHz que tiene un plazo de vigencia de 10 años, los cuales son prorrogables. Es posible licenciar hasta siete PALs en un mismo condado, sujetos a un límite de acumulación de espectro de hasta 40 MHz por licenciatarario. Las PALs deben cumplir con requerimientos de desempeño sustanciales al término de su primer plazo de vigencia. Los PALs deben proteger y aceptar la interferencia de los usuarios de Acceso Primario, pero reciben protección de los usuarios de Acceso General Autorizado, Las reglas técnicas para las licencias PAL están contenidas en la Parte 96 de las reglas de la FCC.⁷²

- Nivel 3. Acceso General Autorizado. - El Acceso General Autorizado (GAA por las siglas en inglés de *General Authorized Access*) se aplica con el modelo “licenciado por regla” para permitir el acceso flexible y abierto a la banda al grupo más amplio posible de usuarios potenciales. Los usuarios GAA pueden operar a en toda la banda de 3550-3700 MHz. Los usuarios GAA no deben causar interferencias perjudiciales a los usuarios de Acceso Primario ni a Licencias de Acceso Prioritario, y deben aceptar la interferencia de estos usuarios. Asimismo, los usuarios GAA tampoco tienen expectativa de protección contra interferencias provenientes de otros usuarios GAA. Las reglas técnicas para los usuarios GAA se encuentran contenidas en la Subparte E de la parte 96 de las reglas de FCC.⁷³

3.6. Esquemas regulatorios para la asignación y uso flexible del Espectro

La adopción efectiva de las tecnologías de uso compartido del espectro, depende en gran medida de que los gobiernos desarrollen los marcos regulatorios apropiados para dotar de certidumbre a la industria de equipamiento, a los

⁷² *Ídem*

⁷³ *ibídem*

operadores existentes y habilitar a los nuevos entrantes que serán capaces de acceder a recursos espectrales de forma compartida gracias estas tecnologías.

En realidad, prácticamente en todo el mundo se hace uso compartido del espectro desde hace décadas. Como se mencionó en la sección de Introducción de este documento, las bandas de frecuencia ISM fueron bandas pioneras en las cuales florecieron diversas tecnologías que operan bajo los principios de uso compartido. Tecnologías como Wi-Fi, *Bluetooth*, *ZigBee*, DECT, RFID, entre otras. No obstante, estas tecnologías operan generalmente en esquemas de alcance limitado, en modelos regulatorios de uso del espectro del tipo estático (es decir, donde las reglas y parámetros de operación permanecen sin cambio) en los cuales los dispositivos que hacen uso de estas frecuencias deben observar el cumplimiento de las normas técnicas aprobadas por cada país para asegurarse de que operen conforme a lo esperado por la norma a través de los procesos de certificación de productos, como lo es el trámite de homologación para el caso de México, según el Artículo 289 de la LFTR.

Sin embargo, como se ha visto en secciones anteriores, surgieron nuevos modelos que habilitan la compartición del espectro de formas innovadoras en donde se propuso la convivencia entre espectro licenciado y usuarios que operan dispositivos sin licencia, o incluso, la convivencia entre operadores y usuarios con múltiples jerarquías y derechos de acceso al espectro, de manera más dinámica

Es así, que en diversos países se ha avanzado en la emisión de regulaciones y normas técnicas para posibilitar un uso más eficiente de sus recursos espectrales, habilitar nuevos servicios para impulsar el desarrollo de su sector de telecomunicaciones y que ello sea una palanca de progreso para su economía, tal como se ejemplifican varios casos en esta ruta en el informe *“Enhancing*

*Connectivity Through Spectrum Sharing” de Policy Impact Partners Y Dynamic Spectrum Alliance (2019).*⁷⁴

En tal sentido, los esquemas de regulación para habilitar el uso dinámico del espectro dependen en gran medida de las características específicas y necesidades que cada país tiene para el uso del espectro, tomando en consideración las posibles restricciones de carácter nacional e internacional que enfrente, sus prioridades y objetivos de desarrollo en el corto y largo plazo, por lo que es poco probable encontrar esquemas regulatorios idénticos entre dos o más países. Si acaso, podrán encontrarse algunas similitudes en cuanto a la banda de frecuencias objeto de compartición, el tipo de dispositivos que acceden de forma dinámica al espectro y algunos parámetros técnicos de operación.

Como ejemplo de esto, en el cuadro siguiente⁷⁵ se puede observar un ejemplo de algunas de las bandas propuestas para la implementación de sistemas de uso compartido del espectro y los servicios con los cuales se deberá convivir brindándoles protección:

Cuadro 11. Bandas de frecuencias para su posible compartición

Banda	Región/Área	Uso
1675-1710 MHz	Estados Unidos Europa	Ayudas a la meteorología y servicios meteorológicos por satélite
1755-1780 MHz	Estados Unidos	Sistemas Federales (enlaces fijos de microondas, enlaces militares, entrenamiento de combate aéreo, enlaces de vídeo, telemetría, enlaces de control, etc.)
2300-2400 MHz	Europa (CEPT)	Defensa/telemetría, radiolocalización, servicios auxiliares a la radiodifusión
3550-3650 MHz	Estados Unidos	Servicios de Radiolocalización, Servicios para la radionavegación aeronáutica

⁷⁴ Policy Impact Partners & Dynamic Spectrum Alliance. (2019). *“Enhancing Connectivity Through Spectrum Sharing”*. Recuperado el 14 de septiembre de 2021, de <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2019/10/Enhancing-Connectivity-Through-Spectrum-Sharing.pdf>

⁷⁵ OECD. (2014). *“New Approaches to Spectrum Management”*, OECD Digital Economy Papers, No. 235. OECD, OECD Digital Economy Papers. París: OECD Publishing. doi: <https://doi.org/10.1787/5jz44fng066c-en>

Banda	Región/Área	Uso
3.4/3.6 y 3.6/3.8 GHz	Todas las regiones	Identificación global para tecnologías IMT

Fuente: OECD (2020)

Por lo tanto, el regulador debe fungir como el orquestador que equilibre los diferentes intereses y necesidades de las partes que estén involucradas en la utilización del espectro, tales como agencias de gobierno que operan servicios, industria de fabricantes de equipos y desarrolladores de tecnologías, prestadores de servicios de telecomunicaciones, organismos de estandarización de tecnologías, organismos de regulación en el ámbito internacional, público usuario, entre otros. Evidentemente, de acuerdo con las mejores prácticas en materia de regulación, se considera indispensable el someter cualquier propuesta de nueva regulación o adecuación de la existente a procesos de consulta pública. Asimismo, es recomendable el establecimiento de grupos de trabajo, fuerzas de tarea o comités interdisciplinarios, en los cuales puedan tener participación los actores relevantes para abordar a detalle los requerimientos específicos que se requieren desarrollar para la adopción e implementación de esquemas de uso compartido del espectro y someter a consideración del regulador las recomendaciones, estudios o anteproyectos relativos al tema.

Por otra parte, es necesario que las Administraciones que tengan considerado introducir regulaciones para el uso compartido del espectro lleven a cabo un diagnóstico lo más detallado posible de las asignaciones actuales de espectro, su grado de utilización, a quiénes están otorgadas, el tipo de servicios que operan, en donde operan, y qué tipo de aplicaciones y tecnologías son usadas; para que, a partir de ello, se identifiquen las posibles ineficiencias en el uso de determinadas bandas de frecuencias y se puedan llevar a cabo los estudios para la re planificación del espectro con la intención de alcanzar un grado de eficiencia más alto en su uso. En este tipo de análisis, suele ser común encontrar que existen asignaciones de frecuencias que están siendo subutilizadas, o bien que su uso está confinado a unas cuantas estaciones en pocos sitios, lo cual se da con frecuencia en los servicios

operados por entes gubernamentales; como es el caso de algunos servicios militares, estaciones meteorológicas, algunos servicios satelitales, sistemas de enlaces de microondas, concesiones en las que no se alcanzó una madurez en la tecnología o en el despliegue de las redes⁷⁶, etc., posiblemente debido a que se trata de asignaciones históricas realizadas bajo esquemas de gestión de espectro del tipo comando y control, pero que ya no atienden a las necesidades actuales, o bien, en su momento se adoptó como una solución eficiente el bloquear el uso de ciertas frecuencias en todo el territorio de un país aunque solo se utilice en pocos lugares y/o por periodos de tiempo cortos. Aunado a lo anterior, al agregar incentivos tales como la escasez de espectro, o el interés de apoyar desarrollos tecnológicos nacionales, se produce la adopción de regulación para el uso compartido del espectro.

Ante ello, el conjunto mínimo de acciones que deben llevarse a cabo para avanzar hacia la adopción de esquemas de regulación aptos para el uso compartido del espectro, son las siguientes:

- Procurar la armonización regional y/o global para el uso del espectro
- Identificar los servicios y qué bandas de frecuencias pueden ser compartidos
- Diseño de los derechos de acceso al espectro (quiénes, cuántos, prioridades y jerarquías de acceso)
- Actualización, depuración y digitalización de los registros de uso del espectro en poder del regulador (concesiones, permisos, autorizaciones, asignaciones)
- Determinación de mercado(s) en los cuales se prestarán o utilizarán los servicios de uso compartido
- Revisión de acuerdos internacionales para el uso del espectro en zonas de frontera y, en su caso, proponer las enmiendas y/o adopción de los

⁷⁶ En México, han sido notables algunos casos de subutilización del espectro en algunas bandas de frecuencias, tales como 1.9 GHz (Caso SAI), 2.5 GHz (Caso MVS) y 3.5 GHz (Caso NII digital).

acuerdos internacionales necesarios para habilitar los nuevos esquemas en el ámbito doméstico

- Desarrollo de normas técnicas, disposiciones, reglas, lineamientos y demás instrumentos regulatorios para permitir el uso compartido del espectro.
- Creación de sistemas y/o empresas para la coordinación de frecuencias y usuarios
- Integración de los sistemas de uso compartido con las redes y servicios existentes
- Realización de pruebas de concepto y ensayos con las nuevas tecnologías de espectro compartido, previo a su explotación definitiva
- Impulso al crecimiento de infraestructura y adopción de dispositivos capaces de hacer uso compartido del espectro conforme a las normas emitidas
- Desarrollo de métodos y procedimientos para la certificación y homologación de equipos, productos y dispositivos conforme a las normas adoptadas
- Creación de estrategias de vigilancia y supervisión del nuevo ecosistema

La incorporación de estos elementos a la regulación, requiere de un marco legal lo suficientemente flexible a efecto de que se puedan llevar a cabo las adecuaciones del mismo según sea requerido, por lo que este tipo de esquemas de uso del espectro son de más fácil introducción en países que cuentan con órganos reguladores fuertes y con poder de decisión sobre la materia que regulan, lo que les permite actuar de forma más rápida en comparación con otros regímenes que son más rígidos en cuanto a su proceso de modificación de instrumentos regulatorios.

No obstante, aun tratándose de casos en los cuales se cuenta con organismos reguladores con las suficientes atribuciones para modificar y emitir nuevas regulaciones, los procesos para adaptar la regulación y para que el ecosistema de operadores, industria y usuarios estén preparados para la aplicación de nuevas reglas concernientes al uso compartido del espectro puede llegar a tardar varios

años, debido a que resulta necesario llevar a cabo múltiples acciones como se describió anteriormente, la mayoría de ellas de un alto grado de complejidad, para contar efectivamente con marcos regulatorios dirigidos a la compartición del espectro.

Como ejemplo de esto, podemos citar el caso de Estados Unidos, en donde las regulaciones para la compartición de espectro entre usuarios del gobierno federal y usos civiles, ha evolucionado desde 2002 hasta 2014 y aún hoy en día se continúa por ese camino, como se ilustra a continuación:

Cuadro 12. Línea de tiempo sobre desarrollo de regulación para compartición de espectro entre usuarios federales y no federales en Los Estados Unidos de América

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	...	2013	2014
		Aviso de propuesta de reglamentación sobre la banda 5 GHz (U-NII)			Memorándum opinión y ordenamiento sobre la banda 5GHz U-NII			Aviso de propuesta de reglamentación sobre extensión de la banda 5 GHz U-NII	Informe y ordenamiento sobre extensión de la banda 5 GHz U-NII
Compartición de espectro entre entes federales y no federales		Informe y ordenamiento sobre la banda 5GHz (U-NII)							
	Aviso de consulta sobre Espectro sin Licencia		Aviso de propuesta de reglamentación sobre uso sin licencia en la banda 3650 MHz	Informe y ordenamiento sobre la banda 3650 MHz		Memorándum opinión y ordenamiento sobre la banda 3650 MHz			

Fuente: Holland, O., Bogucka, H., & Medeisis, A. (2015). *“Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access. The Practical Reality”*. New Jersey: Wiley.

En adición a los Estados Unidos de América, otros países también han realizado esfuerzos para implementar esquemas de uso compartido del espectro, tal como lo informa el Grupo de Política de espectro de la Comisión Europea⁷⁷, de cuyo reporte se destacan los siguientes ejemplos:

En el Reino Unido, Ofcom, el regulador del sector de ese país, ha adoptado un enfoque diferente al de los Estados Unidos de América. En el Reino Unido se han puesto a disposición frecuencias en las bandas de 1800 MHz, 2.3 GHz y 3.8-4.2 GHz para nuevos usuarios bajo un marco de uso compartido de espectro⁷⁸. Esta regulación plantea administrar y coordinar el acceso al espectro por ubicación y por orden de llegada de las solicitudes. Adicionalmente, se considera también espectro en la banda de 24.25-26.5 GHz para su uso en interiores dentro de este marco regulatorio.

La regulación del Reino Unido considera en general los siguientes aspectos generales:

- Licencias de baja potencia (licencia por zona): Válida para operar la cantidad requerida de estaciones base dentro de un área circular con un radio de 50 metros. Para zonas más extensas, los interesados pueden solicitar múltiples áreas de licencia para lograr el área de cobertura requerida.
- Licencia de potencia media (licencia por estación base): Se autoriza por cada estación base. En general, esta aplica principalmente para

⁷⁷ Comisión Europea. (2021). RSPG *“Report on Spectrum Sharing a forward-looking survey”* (Núm. RSPG21-016; p. 66). Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. Recuperado el 15 de abril de 2021 de: https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/02/RSPG21-016final_RSPG_Report_on_Spectrum_Sharing.pdf

⁷⁸ Ofcom. (2019). *“Enabling wireless innovation through local licensing”*. Recuperado el 15 de abril de 2021 de: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0033/157884/enabling-wireless-innovation-through-local-licensing.pdf

despliegues en áreas rurales, donde es poco probable que limite a los usuarios de baja potencia.

- Las terminales móviles en la banda de 3.8-4.2GHz, deben mantener un registro preciso de la ubicación del sitio en el que están limitados a operar. No se permite que esta banda se utilice para proporcionar servicios de banda ancha móvil a nivel nacional dado que esto podría limitar oportunidades a los usuarios locales.
- En donde existen licencias de espectro otorgadas a nivel nacional para operadores móviles, pero el espectro no se está utilizando en todas las ubicaciones posibles, se establece como viable el permitir el acceso a este espectro por nuevos usuarios, con duración estándar de 3 años
- El regulador verifica que el operador existente no manifieste algún impedimento que signifique afectación en sus operaciones actuales o restricciones para el desarrollo futuro de su red y que exista nula o muy baja probabilidad de que el nuevo usuario cause interferencias perjudiciales a la red del operador existente.

Finalmente, Ofcom menciona que está estudiando las alternativas que ofrecen los sistemas de acceso dinámico al espectro apoyados en una base de datos central totalmente automatizada en las bandas descritas en el marco de uso compartido, e invita a la industria y demás partes interesadas para colaborar con el regulador y desarrollar su enfoque al respecto.

En el caso de Francia, se está desarrollando una prueba de concepto utilizando *blockchain*⁷⁹ para una solución de base de datos de geolocalización en la banda de 6 GHz para proteger los servicios establecidos (Servicio Fijo) de los nuevos servicios RLAN. De este enfoque, se destaca lo siguiente:

⁷⁹ La tecnología de Blockchain para la coordinación y asignación de frecuencias, fue demostrada en Francia por primera vez durante un evento especial en 2019, permitiendo la asignación de canales a usuarios de micrófonos individuales de manera descentralizada. Ver: <https://www.anfr.fr/fr/toutes-les-actualites/actualites/la-blockchain-des-frequences-utilisee-pour-le-qatar-prix-de-larc-de-triomphe-2019/>

- Para la banda de 6 GHz, se definiría un conjunto de “zonas de protección” para cada receptor del servicio fijo que necesite protección, teniendo en cuenta sus características específicas (altura de la antena del servicio fijo, patrón de radiación de antena, acimut del enlace, etc.).
- El algoritmo base para determinar el espectro disponible para un dispositivo RLAN dentro de su ubicación, se basa en la suma de las restricciones asociadas con los diversos receptores del servicio fijo a proteger. Un receptor del servicio fijo determinado implica una restricción para un dispositivo RLAN si la zona de protección del servicio fijo correspondiente se superpone a la zona de funcionamiento de la RLAN declarada en el sistema.

En los Países Bajos se implementó un sistema de reserva en línea para la Realización de Programas y Eventos Especiales (PMSE, del inglés *Programme Making and Special Events*) en la banda de 2.3 – 2.4 GHz, la cual también utiliza el Ministerio de Defensa y que puede considerarse como un primer paso hacia un sistema LSA completo. El objetivo original de este sistema de reserva es el de acortar el tiempo de espera para recibir asignaciones de espectro y reducir los problemas de interferencia. Este esquema basado en LSA es de uso obligatorio para el sector PMSE y se incorpora en las licencias de estos. Un mayor desarrollo del sistema involucrará a otros usuarios existentes en la banda, tales como los de uso gubernamental y radioaficionados. Asimismo, en los países bajos se elaboró una hoja de ruta para describir las posibilidades futuras y los plazos previstos de los sistemas LSA. Esta hoja de ruta mira más allá de la banda 2.3 – 2.4 GHz y también considerará otros medios de compartir el espectro adicional a los de una reserva manual en una aplicación web. Actualmente, el servicio de reserva de LSA está en proceso de integrarse aún más en el panorama de las tecnologías de la información y las comunicaciones de la Agencia de Radiocomunicaciones de los Países Bajos. Se espera que el nuevo sistema LSA integrado entre en funcionamiento en el primer trimestre de 2021 para los primeros usuarios en la primera banda de frecuencias. Por lo tanto, el proceso está integrado como un proceso regular para la distribución

dinámica de frecuencias y, posteriormente, puede ampliarse hacia otras bandas de frecuencia o usuarios.⁸⁰

A nivel internacional existen múltiples ejemplos de países que están desarrollando o planificando regulación para el uso compartido del espectro. En todas las regiones, múltiples reguladores han estado analizando estos esquemas y han emitido regulación al respecto, o en su caso, estudios o procesos de consultas públicas para analizar el potencial y los posibles beneficios que puedan obtenerse de la implementación de regulación apta para el uso compartido y acceso dinámico al espectro. En el Anexo 1 del presente documento, se aporta una muestra de once países que han emprendido algún tipo de procedimiento sobre el uso compartido de espectro, tales como regulación, consultas públicas o pruebas de concepto.

⁸⁰ Comisión Europea. (2021). RSPG *“Report on Spectrum Sharing a forward-looking survey”* (Núm. RSPG21-016; p. 66). Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. Recuperado el 15 de abril de 2021 de: https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/02/RSPG21-016final_RSPG_Report_on_Spectrum_Sharing.pdf



Capítulo 5.
**Alternativas Regulatorias para
Implementar el Uso Flexible del
Espectro Radioeléctrico en México**

Capítulo 5. Alternativas regulatorias para implementar el uso flexible del Espectro Radioeléctrico en México

Como se ha visto a lo largo de los capítulos anteriores, el uso compartido y dinámico del espectro posibilita hacer un uso más eficiente de este recurso, lo que resulta en mayores beneficios para los países que tienen adaptados sus marcos regulatorios para estas modalidades de uso, ya que fomenta el surgimiento de nuevos prestadores de servicios, permite brindar cobertura en donde antes no había debido a barreras regulatorias (i.e. modelos de licencias exclusivas), aumenta la base de personas con conectividad y fortalece la competencia en el sector al facilitar el ingreso de nuevos jugadores a los mercados en la prestación de servicios, lo que repercute en un incremento del bienestar y en el desarrollo económico de la sociedad. Por ello, la introducción de esquemas para el uso compartido del espectro se considera como una buena práctica internacional en materia de gestión de espectro en las economías modernas donde el incremento en la demanda por servicios inalámbricos aumenta de forma sostenida.

Al respecto, el Manual de Economía Digital, el cual constituye una guía para para orientar a los reguladores a establecer regulaciones apropiadas acordes con las mejores prácticas, menciona que “simplemente el aplicar las reglas existentes – y potencialmente obsoletas – para la regulación de las nuevas tecnologías y servicios puede sofocar la innovación”⁸¹

Por lo anterior, y para enfrentar de manera efectiva los retos impuestos por los modelos innovadores en el uso del espectro, como lo son los esquemas de uso compartido del espectro, se deben explorar de manera creativa nuevos modelos de regulación para el espectro

⁸¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones y Banco Mundial. (2020). “*Digital Regulation Handbook*”. Ginebra. Recuperado el 15 de abril de 2021, de: <https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/08/31/09/09/Digital-Regulation-Handbook#>

Cuadro 13. Enfoques creativos para el uso del espectro.

Modelo de uso del espectro	Descripción	Regulación en México	Beneficios	Retos
Espectro sin licencia	Sin limitación respecto a la cantidad de usuarios de la banda bajo el uso sin licencia	<ul style="list-style-type: none"> •LFTR: Art. 55 fr. II 	Habilita la entrada de manera sencilla a usuarios nuevos y variados	Sin la gestión del espectro, es más alta la probabilidad de interferencias
Uso privado para IoT	Habilita el uso de redes locales para funciones específicas industriales, como minería, puertos, o cuidado de la salud	<ul style="list-style-type: none"> •LFTR Art. 76 fr. III •LFTR Art. 78 •Lineamientos de Uso Secundario 	Soporte de IoT para una gama de sectores, con riesgo relativamente bajo de interferencias debido al uso confinado	Puede limitar la disponibilidad de espectro para 5G para un uso comercial más amplio
Compartición de Espectro	Múltiples usuarios, diferentes aplicaciones / tecnologías comparten la misma banda de frecuencias	<ul style="list-style-type: none"> •Lineamientos de Uso Secundario (*) 	Acomoda múltiples usuarios para un uso más eficiente del espectro	Se requiere de cierto nivel de gestión con potencial de interferencias

(*): Se atiende parcialmente el modelo de uso

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones y Banco Mundial, 2020) y aportaciones propias

Dependiendo del grado de desarrollo y de la demanda que se tenga para acceder a recursos espectrales, se van implementando los mecanismos regulatorios que habilitan los diversos modos de uso del espectro, en adición al modelo clásico de otorgamiento de licencias.

En tal sentido, es importante identificar si los marcos legales y técnicos están preparados para llevar a cabo la adopción de estos modelos, a efecto de determinar si es necesario adecuar primero la regulación para abrirla hacia esquemas de uso del espectro innovadores que no necesariamente se ajustan a la concepción tradicional de otorgar una licencia a un único agente para el uso exclusivo de una porción de espectro en un área determinada y por un tiempo específico.

Para ello, en el presente capítulo se identifican las barreras de carácter regulatorio que pueden obstaculizar la adopción de esquemas innovadores para el uso compartido del espectro y el acceso dinámico en México, en su caso, las acciones en curso para su resolución, y finalmente, la propuesta de algunas alternativas para la adecuación o emisión de regulaciones, a efecto de sentar las bases que doten de certidumbre y claridad al marco regulatorio nacional sobre la implementación de estos modelos y se cuente con la suficiente flexibilidad para que se alcance un uso más eficiente del espectro, brindando a los usuarios los beneficios que aportan los esquemas y tecnologías de uso compartido y acceso dinámico al espectro.

1. Obstáculos Regulatorios

De los esquemas creativos para el uso del espectro mostrados en el Cuadro 13, es posible advertir que en México se cuenta con regulación para el uso del espectro sin licencia y para el uso privado (aunque con ciertos inconvenientes, como se explicará más adelante), pero no cuenta aún con un marco regulatorio clara y explícitamente diseñado para habilitar el uso compartido del espectro.

Respecto al uso del espectro sin licencia, desde hace décadas, en México se ha habilitado el uso del espectro sin licencia o mejor conocido en el país como “espectro de uso libre”, a través de múltiples acuerdos emitidos por la autoridad competente.⁸²

⁸² Ver: Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). *Inventario de Bandas de Frecuencias Clasificadas como Uso Libre*. Recuperado el 16 de abril de 2021, de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>

Además, en la LFTR se dispuso la clasificación de “espectro libre” como una de las cuatro contempladas en su Artículo 55⁸³:

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

I. (...)

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;

(...)”

En cuanto al espectro para el uso privado, la LFTR contempló su concesionamiento en el Capítulo III: “De las Concesiones sobre el Espectro Radioeléctrico y los Recursos Orbitales”, a través del Artículo 76:

“Artículo 76. De acuerdo con sus fines, las concesiones a que se refiere este capítulo serán:

(...)

III. Para uso privado: Confiere el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado o para la ocupación y explotación de recursos orbitales, con propósitos de:

a) Comunicación privada, o

⁸³ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Diario Oficial de la Federación (“DOF”) de 14 de julio de 2014. Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

b) Experimentación, comprobación de viabilidad técnica y económica de tecnologías en desarrollo, pruebas temporales de equipo o radioaficionados, así como para satisfacer necesidades de comunicación para embajadas o misiones diplomáticas que visiten el país.

En este tipo de concesiones no se confiere el derecho de usar, aprovechar y explotar comercialmente bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado ni de ocupar y explotar recursos orbitales, y

(...)”

Asimismo, es de destacar que la LFTR consideró la forma en la cual este tipo de concesiones pueden ser otorgadas:

*“Artículo 78. Las concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico para uso comercial o privado, en este último caso para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso a), **se otorgarán únicamente a través de un procedimiento de licitación pública** previo pago de una contraprestación, para lo cual, se deberán observar los criterios previstos en los artículos 6o., 7o., 28 y 134 de la Constitución y lo establecido en la Sección VII del Capítulo III del presente Título, así como los siguientes:*

(...)”

(énfasis añadido)

Como puede apreciarse, conforme al artículo 78 de la LFTR, el concesionamiento de bandas de frecuencias para el uso privado, debe llevarse a cabo mediante licitación pública, lo cual por sí mismo representa una barrera de acceso al espectro que, en los hechos, dificulta la asignación eficiente de bandas de frecuencias para este tipo de uso. Esto, debido a que resulta poco eficiente el convocar a una licitación pública *ad hoc* para otorgar una concesión de espectro que atienda a necesidades muy específicas de una red privada que sería usada

para atender las necesidades de un solo agente; por ejemplo, una red privada de telecomunicaciones de enlaces de microondas entre varios puntos de un complejo industrial perteneciente a una empresa determinada, lo que implica que dicho espectro solamente le será de utilidad a dicha empresa, pero a ninguna otra, lo que implicaría que potencialmente exista un único interesado en dicha licitación pública, por lo que no se daría un proceso competitivo ya que solamente participaría en la licitación el interesado en establecer dicha red, o en su caso, al tratarse de un proceso de licitación pública se podrían presentar participantes adicionales con intereses meramente especulativos que eventualmente impedirían el acceso al espectro al agente que realmente lo necesita. Asimismo, sería necesario llevar a cabo un proceso administrativo oneroso y tardado que implica el diseño del mecanismo de subasta, elaboración de bases de licitación, publicación de pre bases para consulta pública, emisión de bases finales, convocatoria a la licitación, revisión de documentación y garantía de seriedad del (los) participante(s), realización del proceso de subasta elegido, evaluación y calificación de la(s) oferta(s) y emisión del fallo de la licitación. Todo esto, previo a la entrega de un título de concesión de espectro para uso privado.

De manera similar, lo previsto en la LFTR en el caso de concesiones para uso privado para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso b), destinadas a *“experimentación, comprobación de viabilidad técnica y económica de tecnologías en desarrollo, pruebas temporales de equipo o radioaficionados, así como para satisfacer necesidades de comunicación para embajadas o misiones diplomáticas que visiten el país”*⁸⁴; tampoco aporta una solución a la problemática planteada. Ello debido a que, de conformidad con lo establecido en el artículo 82 de la LFTR estas concesiones pueden ser otorgadas por un plazo improrrogable de hasta dos años⁸⁵ y son intransferibles. La corta temporalidad de este tipo de

⁸⁴ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Diario Oficial de la Federación (“DOF”) de 14 de julio de 2014. Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

⁸⁵ Excepto para el caso de concesiones para radioaficionados, las cuales, de acuerdo con el Art. 82 de la LFTR se podrán otorgar hasta por cinco años, los cuales son prorrogables.

concesiones y su imposibilidad de ser prorrogadas, impide que bajo esta modalidad florezcan propuestas de uso del espectro que por sus características específicas pudieran requerir de mayor tiempo para desplegar infraestructura llevar a cabo pruebas o validar casos de uso o aplicaciones, además de que este tipo de concesión no sería el vehículo idóneo para el despliegue de servicios de uso privado distintos a los que son con fines meramente experimentales, para pruebas o la validación técnica, ya que su finalidad es diferente a la que buscaría un agente que tenga intención de desplegar una red privada para soporte de sus propias operaciones y actividades durante un plazo de tiempo mayor a dos años y contar con la expectativa de que dicha concesión pueda ser prorrogada, a efecto de tener oportunidad de amortizar las inversiones que realice para el despliegue de su red y eventualmente poder continuar con sus operaciones en el largo plazo a través de la(s) prórroga(s) de la concesión que pueda solicitar.

Es por ello, que los mecanismos establecidos en los Artículos 76 y 78 de la LFTR para acceder a concesiones de uso privado hasta ahora no ha resultado en una solución adecuada para brindar acceso al espectro a actores que requieren del mismo para atender sus necesidades específicas. Prueba de ello, es que, a la fecha de elaboración del presente trabajo, el IFT no ha llevado a cabo ninguna licitación de bandas de frecuencias para uso privado. Las 11 licitaciones que a la fecha han sido realizadas o anunciadas, han sido todas ellas para el otorgamiento de concesiones de uso comercial.

Lo anterior, no es reflejo de que no haya demanda por acceso al espectro para tales fines, ya que ha habido peticiones por parte de diversos actores para poder acceder al espectro para concesiones de uso privado. Durante la elaboración de los Programas Anuales de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias (PABF), los cuales se nutren de las solicitudes de inclusión que son recibidas por el IFT, se identifica mediante la valoración de las solicitudes de inclusión, que han sido recibidas múltiples solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias para su concesionamiento como uso privado. Sin embargo, En siete años transcurridos de emisión del PABF, a pesar de haber recibido el Instituto más de 100 solicitudes de

inclusión de bandas de frecuencias para su concesionamiento para uso privado, no fue publicada ninguna para dicho uso, tal como se muestra a detalle en el Anexo 2.

Por el contrario, para todos los demás tipos de concesiones de espectro previstos en la LFTR, en los PABF han sido publicadas cada año múltiples frecuencias para concesiones de tipo comercial, público y social.

Si bien puede ser que en algunos casos las manifestaciones de interés recibidas para concesiones de uso privado no hayan resultado viables para su inclusión en el PABF por razones diversas, tales como la falta de disponibilidad de espectro, servicios no compatibles con el marco técnico o regulatorio, o falta de claridad en algunas de las solicitudes, no podemos obviar el hecho de que el tener que llevar a cabo una licitación pública para otorgar concesiones de bandas de frecuencias para uso privado, puede considerarse una barrera regulatoria importante que impide que los agentes interesados puedan acceder eficazmente al espectro para este tipo de uso.

Ante ello, el IFT ha resuelto parcialmente este inconveniente a través de la emisión del “Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones emite los Lineamientos para el otorgamiento de la Constancia de Autorización, para el uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario.”, publicado en el DOF el 23 de abril de 2018, el cual, en el numeral 4 del Considerando Cuarto expresa:

“2. Es importante considerar que en la asignación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, los plazos de las licitaciones resultan ser muy largos, al considerar la programación y administración de las bandas de frecuencias para su correspondiente incorporación y publicación en el programa anual de bandas de frecuencias; la elaboración de la convocatoria y las bases de licitación; la publicación en la página de Internet del Instituto, así como en el DOF, el proceso de presentación de ofertas, el análisis de la documentación, el fallo, y en su caso la fecha para el otorgamiento del título de concesión.”

*Por lo que, la figura de licitación pública está prevista en la ley para el otorgamiento de bandas de frecuencias de uso comercial y privado (uso determinado), por lo tanto, **resulta impráctica y poco conveniente para atender las solicitudes específicas de uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico**, para las actividades mencionadas en el considerando segundo, en virtud de no otorgar certeza para su asignación a los requirentes que solicitan el uso específico de dichas bandas, precisamente por la libertad de concurrencia que existe en el procedimiento de licitación, ya que de no resultar ganadores los solicitantes en los procedimientos licitatorios, sólo se provocaría la existencia de un intermediario entre los solicitantes y el Instituto de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.”⁸⁶*

(énfasis añadido)

A través del otorgamiento de la Constancia de Autorización de Uso Secundario del Espectro, se facilita el acceso a recursos espectrales sin tener que incurrir en el ya descrito proceso licitatorio, específicamente para la realización de eventos especiales de corta duración o bien para su utilización en instalaciones para actividades productivas; aunque esto no resuelve de fondo la problemática relacionada con la asignación del espectro, como se detalla a continuación:

- **Temporalidad:** De acuerdo con el Artículo 7 de los Lineamientos de Uso Secundario, las autorizaciones se otorgan con una vigencia de hasta 60 días naturales para la celebración de eventos específicos, y de hasta cinco años para el caso de Instalaciones destinadas a actividades comerciales o industriales. En este último caso, una temporalidad tan corta puede inhibir la

⁸⁶ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). “Acuerdo mediante el cual el Pleno del emite los Lineamientos para el otorgamiento de la Constancia de Autorización, para el uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario”. Diario Oficial de la Federación (“DOF”) del 23 de abril de 2018. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5520397&fecha=23/04/2018

disposición a invertir en el despliegue y modernización de la red que utilice tales frecuencias, debido a la potencial incertidumbre del autorizado para obtener la prórroga de la autorización.

- Protección contra interferencias: De conformidad con el Artículo 3 de los Lineamientos de Uso Secundario, las autorizaciones se otorgan bajo la condición de no provocar interferencias perjudiciales a terceros y se sujetan a no reclamar protección contra interferencias provenientes de otros concesionarios o autorizados, lo que puede implicar riesgos para la operación de las redes al amparo de este tipo de autorizaciones, ya que al no haber garantía de que no van a ser interferidas sus operaciones, puede ser un obstáculo para la operación eficiente de redes que requieren de alto grado de disponibilidad y continuidad en sus operaciones, como es el caso de plantas manufactureras o industrias verticales con requerimientos altos de seguridad (por ejemplo, gas, petróleo, electricidad, minería, etc.). Esto, ante la falta de mecanismos técnicos que pudieran dotar de mayor certidumbre a los usuarios de uso secundario, como pudieran ser los sistemas de coordinación automática de frecuencias tipo SAS o LSA descritos en el capítulo anterior.

Por lo tanto, el régimen actual de autorizaciones de uso secundario, no se observa como una solución de largo plazo ni que brinde la suficiente flexibilidad para atender las diversas necesidades y modalidades para acceder a recursos espectrales de forma eficaz y con la menor cantidad posible de barreras regulatorias.

Otro modelo bajo el cual puede habilitarse la compartición del espectro, en este caso entre quienes ya cuenten con una concesión, es a través de la figura de arrendamiento de espectro, prevista en el Artículo 104 de la LFTR, con lo que se habilita el mercado secundario del espectro; regulado en lo particular mediante los “Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro

radioeléctrico”, (Lineamientos de Arrendamiento) publicados en el DOF el 30 de marzo de 2016.⁸⁷

Si bien a través de la figura de arrendamiento de espectro se brinda la posibilidad de habilitar el acceso al espectro a aquellos agentes que cuenten con la capacidad técnica y jurídica para establecer acuerdos de arrendamiento con los concesionarios que tengan la disposición a brindar acceso a sus recursos de espectro, esta modalidad tampoco representa una solución completa para establecer un marco regulatorio para solventar el tema de proporcionar eficazmente el acceso flexible al espectro, por las siguientes razones:

Los Lineamientos de Arrendamiento prevén que solo le son aplicables a las concesiones de uso comercial o privado⁸⁸, por lo que los concesionarios de uso público o social no tienen posibilidad de establecer acuerdos para compartir su espectro al amparo de estos lineamientos; lo cual podría habilitarse protegiendo los aspectos relacionados con respetar los fines de no lucro de tales concesiones (por ejemplo, con acuerdos de arrendamiento con un valor equivalente al costo de las obligaciones de pago de derechos del concesionario arrendador en el segmento de espectro arrendado). Además, bajo esta modalidad no es posible entablar acuerdos de arrendamiento entre diversos tipos de concesionarios, por lo que solo se pueden establecer entre el mismo tipo de concesiones, es decir comercial – comercial y privado – privado⁸⁹.

Asimismo, los Lineamientos de Arrendamiento establecen que este régimen es aplicable solo para aquellos que cuenten con un título de concesión única o un título de concesión de red pública⁹⁰, por lo que deja fuera a las personas físicas o morales

⁸⁷ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2016). “Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba y emite los Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro radioeléctrico”. Diario Oficial de la Federación (“DOF”) del 30 de marzo de 2016. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5431448&fecha=30/03/2016

⁸⁸ *Ídem*, Artículo 5

⁸⁹ *Ibidem*, Artículo 9

⁹⁰ *Ibidem*, Artículo 8

que, sin contar con un título de concesión única o de red pública, pueden tener la necesidad y la capacidad para arrendar espectro de algún concesionario para cubrir sus necesidades específicas; tal es el caso de diversas industrias, como el sector manufacturero o de servicios, o incluso, usuarios finales que pudieran auto aprovisionarse un servicio de telecomunicaciones en áreas de cultivo o ganaderas sin cobertura de servicios, o para actividades como el campismo o montañismo, en lugares sin cobertura a través de un acuerdo de arrendamiento de espectro para contar con comunicaciones durante el desarrollo de este tipo de actividades.

Otra limitante, es que los Lineamientos de Arrendamiento no permiten que el arrendatario utilice el espectro para un servicio diferente al indicado en el título de concesión del arrendador, lo que impide que un arrendatario pueda hacer un uso alternativo o innovador del espectro arrendado. Por ejemplo, un arrendatario no podría arrendar canales de Televisión Digital Terrestre para utilizarlos para la provisión de servicios de banda ancha en alguna comunidad que no esté siendo servida por el servicio de Televisión, ya que se trata de un servicio diferente al establecido en el título de concesión, aun y cuando la provisión del servicio de acceso de banda ancha sea técnicamente factible.

Un aspecto adicional que podría considerarse como una barrera regulatoria para facilitar y flexibilizar el acceso al espectro bajo los Lineamientos de Arrendamiento, es el hecho de que invariablemente se debe llevar a cabo un análisis de competencia económica, y un pronunciamiento expreso por parte del Pleno de IFT, lo cual es entendible cuando se trata de operaciones de arrendamiento entre grandes agentes económicos y que por sus características y alcances indudablemente requieren de una valoración previa para anticipar posibles efectos adversos en el proceso de competencia económica. Sin embargo, podrían reducirse las barreras para pequeños concesionarios o permisionarios al establecer ciertos umbrales en términos de cantidad de espectro arrendado, valor de los contratos de arrendamiento y plazo de los mismos, con el fin de facilitar que pudieran darse mayor cantidad de transacciones en el mercado secundario de espectro entre pequeños operadores. Por ejemplo, en la provisión de servicios de

radiocomunicación privada, un operador pudiera dar en arrendamiento parte de sus canales para que otro pequeño operador que enfrente falta de capacidad en su red pudiera hacer uso de estos, a través de un mecanismo expedito, tal como dar aviso al Instituto previo al inicio del acuerdo de arrendamiento en caso de que no exceda los umbrales establecidos.

Por otro lado, para el caso de las concesiones de uso público o social, la LFTR prevé en su Artículo 83 la posibilidad de compartir el espectro concesionado, pero limitado a las concesiones de uso público otorgadas a las dependencias y entidades del Ejecutivo Federal, dejando fuera a los concesionarios de uso social, quienes podrían tener interés en establecer acuerdos con otros concesionarios del mismo tipo para compartir entre ellos bandas de frecuencias, lo que brindaría la posibilidad de compartir recursos de espectro entre concesionarios de uso social que tengan el interés de ampliar la capacidad de sus redes mediante el acceso a recursos espectrales adicionales de parte de otros concesionarios del mismo tipo. Esta posibilidad puede ser especialmente útil para el caso de operadores de redes sociales comunitarias, quienes suelen contar con poco espectro concesionado y es posible que en el corto plazo sufran de falta de capacidad en sus redes en casos en los que la demanda exceda lo previsto.

Igualmente, en el caso de concesiones de uso público, se considera una limitante el que solamente se puedan compartir las bandas de frecuencias entre entes del Ejecutivo Federal, ya que esta alternativa podría ser útil también para entes a nivel estatal y municipal, de forma horizontal o vertical. Por ejemplo, un concesionario estatal, podría compartir parte del espectro concesionado para una red de seguridad pública con la red de seguridad pública de un pequeño municipio dentro de esa misma entidad federativa.

Como puede apreciarse, en el marco regulatorio nacional si bien se han implementado algunos instrumentos que otorgan ciertas alternativas para acceder al espectro, estos no resultan ser suficientes para habilitar un marco regulatorio más flexible, sencillo y expedito para ampliar las opciones de acceso al espectro, en

consistencia con las posibilidades que actualmente brindan los avances tecnológicos y alto dinamismo en los mercados de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

2. Acciones en Curso

2.1. Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024

La LFTR dispone que el IFT tiene la obligación de realizar las acciones necesarias para contribuir con los objetivos y metas fijados en el Plan Nacional de Desarrollo y demás instrumentos programáticos relacionados con los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión⁹¹.

Atento a ello, el Pleno del IFT, aprobó los Elementos a Incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024⁹², a efecto de que el Ejecutivo Federal considere dichos elementos en la elaboración y emisión del Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico (PNER).

Dentro de la Sección número 3 “Diagnóstico” de los Elementos a Incluirse en el PNER, se hace referencia en el numeral 3.3.7 a la compartición y uso dinámico del espectro, refiriéndose a los mecanismos desarrollados por otros países así como a informes de la UIT y del propio IFT que ahondan en los aspectos técnicos y regulatorios relacionados con el uso compartido y el acceso dinámico al espectro, a partir de los cuales, *“el Instituto ha identificado áreas de oportunidad para que, en el corto plazo, sea posible habilitar esquemas de acceso al espectro radioeléctrico bajo las modalidades de uso compartido y acceso dinámico, en concordancia con*

⁹¹ Según el Artículo 15 fracciones II y IV de la LFTR

⁹² Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2019). “Acuerdo Mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones Aprueba los Elementos a Incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024”. Recuperado el 1 de julio de 2021, de http://www.ift.org.mx/sites/default/files/pner_2019-2024.pdf

el desarrollo tecnológico, las mejores prácticas regulatorias y modelos innovadores de gestión del espectro radioeléctrico."⁹³

En consecuencia, el IFT planteó en los elementos a incluirse en el PNER el objetivo y estrategias relacionadas siguientes:

- OBJETIVO 2: Continuar y mejorar la eficiencia en Optimizar el uso del espectro radioeléctrico en beneficio de los usuarios y, de las audiencias del país.
- Estrategia 2.1: Identificar nuevos mecanismos alternativos para la administración y optimización del espectro radioeléctrico.

Líneas de Acción de la Estrategia 2.1

- Línea de acción 2.1.1 Diseñar mecanismos de coexistencia, y compartición y acceso dinámico de espectro radioeléctrico entre diversos servicios de radiocomunicaciones.

(...)

- Línea de acción 2.1.4 Promover el mercado secundario del espectro radioeléctrico y recursos orbitales, mediante el desarrollo de herramientas que faciliten el arrendamiento y subarrendamiento de este recurso.

No obstante, a la fecha de elaboración del presente trabajo, el Ejecutivo Federal no había emitido el PNER 2019-2024, por lo que no es posible conocer las políticas públicas, objetivos y plazos que figuren como parte del PNER de la actual administración.

Sin embargo, el IFT ha planteado una ambiciosa agenda regulatoria para los próximos años que retoma los elementos antes citados, sobre los cuales se abundará en la siguiente sección.

⁹³ Ídem pp. 19 de 36

2.2. Estrategia IFT 2021 - 2025

En diciembre de 2020, el IFT publicó la “Estrategia IFT 2021-2025” que propone la adopción de una hoja de ruta regulatoria para orientar los proyectos y acciones institucionales que *“cubren aspectos que van desde la promoción del desarrollo, despliegue y uso eficiente de redes e infraestructura de telecomunicaciones y radiodifusión, la competencia y libre concurrencia, el desarrollo del ecosistema digital y la adopción de nuevas tecnologías y casos de uso digitales.”*⁹⁴

La hoja de Ruta contiene cinco objetivos estratégicos, 14 estrategias, 54 líneas de acción regulatoria (LAR), y cinco agendas tácticas para la recuperación económica; dentro de los cuales se encuentran diversas propuestas relacionadas con la gestión del espectro radioeléctrico, entre ellas algunas alternativas para la regulación del acceso dinámico al espectro e identificar esquemas alternativos de asignación de espectro, destacando a continuación los puntos de la Hoja de Ruta que se orientan hacia estos objetivos:

- *“Objetivo 1: Promover el desarrollo, despliegue y uso eficiente de redes e infraestructura que faciliten el desarrollo del ecosistema digital y fomenten la inclusión digital.*
 - *Estrategia 1.3: - Dentro de esta estrategia, entre otras consideraciones, el IFT resalta la importancia de que la disposición del espectro radioeléctrico se lleve a cabo a partir de identificar y analizar esquemas alternativos en la asignación del espectro radioeléctrico de una manera flexible, eficiente, competitiva y no discriminatoria. Asimismo, el IFT prevé evaluar medidas para la puesta a disposición de espectro para usos innovadores,*

⁹⁴ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2021). “Hoja de Ruta 2021-2025”. Recuperado el 01 de julio de 2021 de: <http://www.ift.org.mx/conocenos/hoja-de-ruta-2021-2025>

experimentales y/o de carácter social, tales como sandboxes, entre otros. Asimismo, el IFT considera que se deban evaluar nuevos mecanismos de coexistencia, mercado secundario, compartición y acceso dinámico de espectro radioeléctrico entre diversos servicios de radiocomunicaciones.

- *LAR 1.3.2: Identificar y analizar esquemas alternativos en la asignación del espectro radioeléctrico de una manera flexible, eficiente, competitiva y no discriminatoria.*
 - *LAR 1.3.3: Evaluar medidas que optimicen la puesta a disposición de espectro radioeléctrico para usos innovadores, experimentales y/o de carácter social.*
 - *LAR 1.3.5: Valorar mecanismos de coexistencia, mercado secundario, compartición y acceso dinámico de espectro radioeléctrico entre diversos servicios de radiocomunicaciones, en concordancia con el desarrollo tecnológico, las mejores prácticas regulatorias y modelos innovadores de gestión del espectro radioeléctrico.*
- *Objetivo Transversal: Fortalecer la innovación institucional para el desarrollo propicio de las Telecomunicaciones, la Radiodifusión y el ecosistema digital*
 - *LAR T.1.6: Revisar las regulaciones, marco normativo y otras disposiciones existentes para que respondan a la evolución tecnológica y del ecosistema digital de acuerdo a las mejores prácticas internacionales con un enfoque ágil y flexible (soft law), y basadas en los principios generales de buena regulación.”⁹⁵*

Resulta evidente que existe un compromiso institucional por parte del IFT para avanzar en una agenda que atienda los temas regulatorios asociados al uso compartido y acceso dinámico al espectro; aunque a la fecha, todavía no ha sido

⁹⁵ *ídem*

emitido ningún proceso de consulta pública relacionado con alguna normativa o regulación dirigida específicamente a estos temas.

Por otra parte, de conformidad con el Programa Anual de Trabajo 2021 del IFT, se tiene previsto llevar a cabo algunas acciones en materia de acceso y uso dinámico del espectro, por ejemplo:

“Estudios y análisis del IFT

- *Análisis en materia de acceso dinámico y uso compartido del espectro radioeléctrico y las alternativas regulatorias para su habilitación. - Se realizará un análisis de las opciones regulatorias con las que se cuenta conforme al marco normativo mexicano vigente para evaluar la posibilidad de habilitar el uso compartido del espectro radioeléctrico como un principio general de la gestión y administración de dicho recurso. Con ello, se busca conocer las alternativas regulatorias en la materia y determinar las acciones a seguir para la habilitación del uso compartido y el acceso dinámico del espectro radioeléctrico en México.*
- *Identificación de necesidades para la implementación de sistemas automáticos de coordinación de frecuencias para la administración del espectro.- El estudio permitirá identificar las necesidades para la implementación de sistemas automáticos de coordinación de frecuencias, los cuales son una herramienta alternativa para la administración y optimización del espectro radioeléctrico funcionando como un mecanismo que procura la disponibilidad demandada por diversos servicios, así como sistemas de radiocomunicaciones para que coexistan en la misma banda de frecuencias y zona geográfica.”⁹⁶*

⁹⁶ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2021). “Programa Anual de Trabajo correspondiente al año 2021”. Recuperado el 01 de julio de 2021, de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pat28012117.pdf>

Como puede apreciarse, aún son incipientes los esfuerzos por parte del regulador para la implementación efectiva de mecanismos regulatorios aptos para el uso compartido y el acceso dinámico al espectro, así como para mecanismos de uso y asignación flexibles de este recurso.

En el siguiente apartado, se plasman diversas propuestas de adecuación al marco regulatorio, con la visión de flexibilizar la regulación de forma tal que se facilite la introducción de las tecnologías de uso dinámico y acceso compartido al espectro en México, así como atender los vacíos regulatorios en la materia para dotar de certeza a los proveedores de servicios, fabricantes y usuarios respecto al despliegue y operación de redes de telecomunicaciones sustentadas en los conceptos antes citados .

3. Propuestas de Regulación

Partiendo del análisis realizado en la sección de este capítulo dedicada a analizar los obstáculos regulatorios y considerando los trabajos a llevar a cabo en el mediano plazo por parte del IFT, se proponen a continuación diversas adecuaciones al marco legal a efecto de avanzar en una agenda regulatoria que fomente el uso eficiente del espectro y la ampliación de la cobertura de servicios de telecomunicaciones a través de la implementación de los esquemas de uso compartido y acceso dinámico al espectro.

3.1. Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión

Considerando las barreras regulatorias identificadas y contrastando éstas con lo establecido en la LFTR, se observa que esta no contiene disposiciones expresas aplicables al acceso dinámico del espectro, o en su caso, limitan la flexibilidad regulatoria para llevar a cabo una gestión del espectro que optimice la eficiencia en su asignación y uso. A continuación, se listan algunos ejemplos de ello:

- Posibilidad de que dos o más agentes distintos puedan obtener concesiones sobre la misma banda de frecuencias de forma simultánea y

en la misma zona geográfica ya sea para el mismo tipo de servicio o para servicios distintos, para habilitar modelos de uso como LSA o LAA.

- Que una misma banda de frecuencias pueda compartir atributos definidos en la LFTR distintos. Por ejemplo, que pueda ser utilizada como espectro determinado y como espectro libre, toda vez que las clasificaciones establecidas en su Artículo 55 son mutuamente excluyentes, lo que impide habilitar esquemas de uso dinámico como por ejemplo los espacios en blanco de televisión; donde una misma banda de frecuencias es concesionada bajo la clasificación de espectro de uso determinado para la provisión del servicio de Televisión Digital Terrestre, pero simultáneamente pudiera ser clasificada como espectro libre, para el uso de tecnologías de acceso inalámbrico con tecnologías de espacios en blanco de televisión.

Otro ejemplo, es que una misma banda de frecuencias pueda compartir la clasificación de uso protegido y de uso determinado, por ejemplo protegiendo las bandas de frecuencias en zonas en las cuales se utiliza efectivamente para determinados servicios y aplicaciones protegidas tales como radares, o radiotelescopios, cuyas características son conocidas (i.e. ubicación y parámetros de operación) con lo que potencialmente pudieran utilizarse estas mismas bandas para concesiones o autorizaciones a otros servicios, brindando protección en todo momento a las operaciones de los servicios operando bajo la categoría de espectro protegido.

- Establecimiento de condiciones para propiciar el uso eficiente del espectro ante la subutilización del recurso por parte de algún concesionario o autorizado, a través de la incorporación de condiciones del tipo “úselo o compártalo”.
- Alternativas para flexibilizar la compartición de espectro establecida en el Artículo 83 de la LFTR, toda vez que este artículo prohíbe la compartición

de espectro con terceros para el caso de las concesiones de uso público y social, salvo el caso de dependencias y entidades del Ejecutivo Federal, quienes pueden compartir entre ellas bandas de frecuencia concesionadas para los fines a los que fueron concesionados.

En tal sentido, a continuación, se proponen algunas adecuaciones a la LFTR a efecto de dotar de mayor flexibilidad al régimen de concesiones y uso del espectro, con lo que se abre la oportunidad a que puedan implementarse más fácilmente los esquemas de acceso dinámico y uso compartido del espectro

Cuadro 14. Propuesta de modificación a la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
Artículo 55. Las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico se clasificarán de acuerdo con lo siguiente:	Artículo 55. Las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico se clasificarán de acuerdo con lo siguiente:
I. - IV.	I. - IV.
	El Instituto establecerá las reglas y condiciones técnicas aplicables para aquellas bandas de frecuencias que, por sus características y posibilidades tecnológicas, puedan compartir más de una clasificación; garantizando la convivencia libre de interferencias perjudiciales entre los diferentes servicios.
Artículo 57. En el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias se establecerá la atribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico a uno o más servicios de radiocomunicaciones de acuerdo a las siguientes categorías:	Artículo 57. En el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias se establecerá la atribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico a uno o más servicios de radiocomunicaciones de acuerdo a las siguientes categorías:
I. - II.	I. - II.

⁹⁷ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Diario Oficial de la Federación. 14 de julio de 2014. Última reforma publicada en DOF el 24 de enero de 2020. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p>El Instituto Federal de Telecomunicaciones podrá establecer modelos alternativos de uso del espectro radioeléctrico para facilitar la introducción de nuevas tecnologías, favorecer la innovación en la prestación de servicios y para incrementar el uso eficiente del espectro; para lo cual se garantizará en todo momento la protección contra interferencias perjudiciales a los servicios protegidos, concesionados o autorizados; considerando las características así como el uso actual y previsto de las bandas de frecuencias y respetando los Tratados y Acuerdos internacionales adoptados por el Estado Mexicano.</p>
<p>Artículo 78. Las concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico para uso comercial o privado, en este último caso para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso a), se otorgarán únicamente a través de un procedimiento de licitación pública previo pago de una contraprestación, para lo cual, se deberán observar los criterios previstos en los artículos 6o., 7o., 28 y 134 de la Constitución y lo establecido en la Sección VII del Capítulo III del presente Título, así como los siguientes:</p>	<p>Artículo 78. Las concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico para uso comercial o privado, en este último caso para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso a), se otorgarán únicamente a través de un procedimiento de licitación pública previo pago de una contraprestación, para lo cual, se deberán observar los criterios previstos en los artículos 6o., 7o., 28 y 134 de la Constitución y lo establecido en la Sección VII del Capítulo III del presente Título, así como los siguientes:</p>
<p>I. – II-</p>	<p>I. – II-</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p>Artículo 78 bis. Las concesiones para el uso y aprovechamiento del espectro radioeléctrico para uso privado, para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso a), podrán otorgarse a petición de parte, previo pago de una contraprestación, para lo cual el interesado deberá:</p> <p>I. Presentar solicitud proporcionando la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Nombre y domicilio del solicitante; b) La banda o bandas de frecuencias de interés; c) La cobertura geográfica solicitada d) Las especificaciones técnicas del proyecto, incluyendo la descripción de los equipos, configuración de la red, aplicaciones y servicios de que se pretenden implementar; e) Evidencia que acredite que los servicios que pretende operar el solicitante no sea posible obtenerlos por parte de algún concesionario o proveedor de servicios. f) Toda la información técnica adicional que el solicitante considere relevante; <p>II. La documentación que acredite la capacidad técnica, financiera, jurídica y administrativa del solicitante.</p> <p>En caso de haber concurrencia de solicitudes idénticas o sustancialmente similares en términos de las bandas de</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p>frecuencias solicitadas y/o área geográfica en donde la demanda de espectro exceda a la disponibilidad del mismo para atender todas las solicitudes recibidas dentro de los plazos establecidos en el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias, el Instituto procederá a llevar a cabo el procedimiento de licitación pública de conformidad con los Artículos 78, 79 y 81.</p>
	<p>Artículo 78 <i>ter</i>. El Instituto analizará y evaluará la documentación correspondiente de conformidad con los plazos establecidos para su presentación en el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias; y dentro del plazo de treinta días hábiles admitirá a trámite la solicitud o prevendrá por única vez al solicitante, cuando en su escrito se omita alguno de los requisitos señalados en el artículo anterior, o el Instituto requiera de aclaraciones respecto a la información y documentación presentada, concediéndole un plazo igual para desahogar la prevención.</p> <p>Desahogada la prevención, el Instituto admitirá a trámite la solicitud dentro de los quince días siguientes. Transcurrido el plazo sin que se desahogue la prevención o sin que se cumplan los requisitos señalados en el artículo anterior, se tendrá por no presentada la solicitud.</p> <p>El expediente se entenderá integrado una vez presentada la información o transcurrido el plazo para entregarla.</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p>Artículo 78 <i>quater</i>. Las concesiones otorgadas al amparo del Artículo 78 bis, no otorgan derechos de exclusividad al titular sobre las bandas de frecuencias concesionadas, por lo que los concesionarios quedan sujetos a las condiciones de compartición de espectro con terceros que determine el Instituto, en términos de las disposiciones técnicas y administrativas aplicables, con el objetivo maximizar la concurrencia y el uso eficiente del espectro.</p> <p>En todo caso, el Instituto deberá establecer los mecanismos técnicos y administrativos necesarios para asegurar la operación sin interferencias entre los distintos concesionarios o autorizados que estén sujetos a la compartición de espectro de conformidad con el Artículo 63.</p> <p>El espectro radioeléctrico asignado de conformidad con el Artículo 78 bis, será concesionado hasta por un plazo de 10 años, y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales, conforme lo dispuesto en el Capítulo VI de este Título.</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
<p>Artículo 79. Para llevar a cabo el procedimiento de licitación pública al que se refiere el artículo anterior, el Instituto publicará en su página de Internet y en el Diario Oficial de la Federación la convocatoria respectiva.</p>	<p>Artículo 79. Para llevar a cabo el procedimiento de licitación pública al que se refiere el artículo anterior 78, el Instituto publicará en su página de Internet y en el Diario Oficial de la Federación la convocatoria respectiva.</p>
<p>Artículo 83. Las concesiones sobre el espectro radioeléctrico para uso público o social se otorgarán mediante asignación directa hasta por quince años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales, conforme lo dispuesto en el Capítulo VI de este Título. Bajo esta modalidad de concesiones no se podrán prestar servicios con fines de lucro, ni compartir el espectro radioeléctrico con terceros. Lo anterior, sin perjuicio de la multiprogramación de las concesiones de radiodifusión en la que se podrá ofrecer capacidad a terceros de conformidad con esta Ley.</p> <p>Las dependencias y entidades del Ejecutivo Federal podrán compartir entre ellas las bandas de frecuencia concesionadas para los fines a los que fueron concesionados, previa autorización del Instituto. Las solicitudes de autorización de cesión relacionadas con bandas de frecuencia necesarias para la seguridad serán analizadas en forma prioritaria.</p>	<p>Artículo 83. Las concesiones sobre el espectro radioeléctrico para uso público o social se otorgarán mediante asignación directa hasta por quince años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales, conforme lo dispuesto en el Capítulo VI de este Título. Bajo esta modalidad de concesiones no se podrán prestar servicios con fines de lucro, ni compartir el espectro radioeléctrico con terceros. Lo anterior, sin perjuicio de la multiprogramación de las concesiones de radiodifusión en la que se podrá ofrecer capacidad a terceros de conformidad con esta Ley.</p> <p>Las dependencias y entidades públicas del Ejecutivo Federal, de las Entidades Federativas, de los Municipios y de los Organismos Autónomos, podrán compartir entre ellas las bandas de frecuencia concesionadas para los fines a los que fueron concesionados, previa autorización del Instituto. Las solicitudes de autorización de cesión o compartición relacionadas con bandas de frecuencia necesarias para la seguridad serán analizadas en forma prioritaria.</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
<p>Artículo 104. Los concesionarios podrán dar en arrendamiento, únicamente bandas de frecuencias concesionadas para uso comercial o privado, estos últimos con propósitos de comunicación privada, previa autorización del Instituto. Para tal efecto, deberá observarse lo siguiente:</p>	<p>Artículo 104. Los concesionarios podrán dar en arrendamiento, únicamente bandas de frecuencias concesionadas para uso comercial o privado, estos últimos con propósitos de comunicación privada, previa autorización del Instituto. Para tal efecto, deberá observarse lo siguiente:</p>
<p>I. – IV.</p>	<p>I. – IV.</p>
<p>El Instituto tendrá cuarenta y cinco días hábiles para resolver sobre la solicitud de autorización de arrendamiento. Los requisitos para obtener la autorización del arrendamiento referido en el párrafo que antecede, se sujetarán a las disposiciones que al efecto emita el Instituto. El Instituto impulsará el mercado secundario de espectro, observando los principios de fomento a la competencia, eliminación de barreras a la entrada de nuevos competidores y del uso eficiente del espectro.</p>	<p>El Instituto tendrá cuarenta y cinco días hábiles para resolver sobre la solicitud de autorización de arrendamiento. Los requisitos para obtener la autorización del arrendamiento referido en el párrafo que antecede, se sujetarán a las disposiciones que al efecto emita el Instituto. El Instituto impulsará el mercado secundario de espectro, el su uso compartido y el acceso dinámico al mismo, observando los principios de fomento a la competencia, eliminación de barreras a la entrada de nuevos competidores y del uso eficiente del espectro.</p>
<p style="text-align: center;">Sección IX</p> <p>Del Cambio o Rescate del Espectro Radioeléctrico o de Recursos Orbitales</p> <p>Artículo 105. El Instituto podrá cambiar o rescatar bandas de frecuencias o recursos orbitales, en cualquiera de los siguientes casos:</p>	<p style="text-align: center;">Sección IX</p> <p>Del Cambio, compartición o Rescate del Espectro Radioeléctrico o de Recursos Orbitales</p> <p>Artículo 105. El Instituto podrá cambiar, e rescatar o instruir la compartición de bandas de frecuencias o recursos orbitales, en cualquiera de los siguientes casos:</p>
<p>I. – VII.</p>	<p>I. – VII.</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	VIII. Para mejorar el grado de eficiencia en el uso del espectro.
Artículo 106. El cambio de bandas de frecuencias o de recursos orbitales, podrá realizarse de oficio o a solicitud de parte interesada.	Artículo 106. El cambio o compartición de bandas de frecuencias o de recursos orbitales, podrá realizarse de oficio o a solicitud de parte interesada.
(...)	(...)
Los concesionarios podrán intercambiar entre ellos una frecuencia, un conjunto de ellas, una banda completa o varias bandas de frecuencias o recursos orbitales que tengan concesionados, previa solicitud y autorización del Instituto. El Instituto resolverá lo conducente dentro de los cuarenta y cinco días hábiles contados a partir de la fecha en que se presente la solicitud, debiendo verificar que el intercambio solicitado no cause alteración a la planeación, no afecte la competencia y libre concurrencia o a terceros, no se generen fenómenos de concentración, acaparamiento o cualquier fenómeno contrario al proceso de competencia y se obtenga un uso eficiente del espectro o de los recursos orbitales.	Los concesionarios podrán intercambiar o compartir entre ellos una frecuencia, un conjunto de ellas, una banda completa o varias bandas de frecuencias o recursos orbitales que tengan concesionados, previa solicitud y autorización del Instituto. El Instituto resolverá lo conducente dentro de los cuarenta y cinco días hábiles contados a partir de la fecha en que se presente la solicitud, debiendo verificar que el intercambio o compartición solicitados, no causen alteración a la planeación, no afecten la competencia y libre concurrencia o a terceros, no se generen fenómenos de concentración, acaparamiento o cualquier fenómeno contrario al proceso de competencia y se obtenga un uso eficiente del espectro o de los recursos orbitales.

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p style="text-align: center;">Capítulo IV bis</p> <p style="text-align: center;">De la Compartición de bandas de frecuencias</p> <p>Artículo 139 bis. El Instituto emitirá los lineamientos de carácter general para establecer las condiciones y procedimientos bajo los cuales los concesionarios, autorizados, o en su caso, usuarios finales, podrán hacer uso de bandas de frecuencias bajo el principio de compartición, en función de las posibilidades que brindan las tecnologías aptas para ello y los requisitos técnicos y administrativos que el Instituto determine. Para tal propósito, el Instituto deberá tomar en cuenta los siguientes principios para la expedición de los lineamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> I. Privilegiar el interés público; II. La protección contra interferencias perjudiciales a los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión; III. La neutralidad tecnológica; IV. El uso eficiente del espectro radioeléctrico; V. El fomento a la innovación en materia de tecnologías y de provisión de nuevos servicios y aplicaciones;

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
	<p>VI. El fortalecimiento del proceso de competencia económica en los sectores de Telecomunicaciones y Radiodifusión; y</p> <p>VII. La disminución de las barreras de acceso y acceso no discriminatorio a las bandas de frecuencias habilitadas para su compartición.</p> <p>El Instituto publicará y mantendrá actualizado en el Registro Público de Telecomunicaciones, el listado de bandas de frecuencias, servicios de radiocomunicaciones habilitados, áreas geográficas y modalidades de uso del espectro que para llevar a cabo la compartición de frecuencias.</p> <p>El Instituto podrá realizar adecuaciones en cualquier momento a las condiciones para el uso compartido de bandas de frecuencias, a fin de valorar su impacto sobre la competencia efectiva en el sector de que se trate y podrá establecer medidas para que la compartición se realice eficazmente y se otorgue el acceso a cualquier concesionario bajo condiciones no discriminatorias, así como aquellas que se requieran para prevenir o remediar efectos contrarios al proceso de competencia.</p>
<p>Artículo 177. El Instituto será el encargado de crear, llevar y mantener actualizado el Registro Público de Concesiones en el cual se inscribirán:</p>	<p>Artículo 177. El Instituto será el encargado de crear, llevar y mantener actualizado el Registro Público de Concesiones en el cual se inscribirán:</p>

TEXTO VIGENTE ⁹⁷	TEXTO PROPUESTO
I. – V.	I. – V.
VI. Las bandas de frecuencias otorgadas en las distintas zonas del país, así como aquellas que hayan sido objeto de arrendamiento o cambio;	VI. Las bandas de frecuencias otorgadas en las distintas zonas del país, así como aquellas que hayan sido objeto de arrendamiento, o cambio o compartición ;
VII. – XIV.	VII. – XIV.

3.2. Lineamientos Generales para el Uso Compartido de bandas de frecuencias

Partiendo de la propuesta de modificación a la LFTR descrita en la sección anterior, relativa a la emisión por parte del IFT de lineamientos de carácter general para establecer las condiciones y procedimientos bajo los cuales los concesionarios, autorizados, o en su caso, usuarios finales, podrán hacer uso de bandas de frecuencias bajo el principio de compartición, derivado de que en México no se regulan expresamente tecnologías o esquemas de uso para la compartición y acceso dinámico al espectro, se estima necesario señalar los mecanismos específicos para su tratamiento y aplicabilidad.

En la presente sección, se proponen los elementos de alto nivel que estos lineamientos pudieran contener, con los cuales se habilitaría el marco regulatorio mediante el cual se materializa la propuesta de reforma a la LFTR en el Artículo 139 bis descrito en la sección anterior.

Cuadro 15. Elementos a incorporar en Lineamientos para el Uso Compartido del Espectro

Elemento	Descripción
Disposiciones generales	Alcance y objetivo y aplicabilidad de los lineamientos

Elemento	Descripción
Definiciones y abreviaturas	Términos y definiciones aplicables a los lineamientos
Requisitos generales	Requisitos administrativos que deberán atender los usuarios alternativos del espectro para acceder al uso compartido, y plazos para respuesta del Instituto. Asimismo, obligaciones de entrega de información necesarios por parte de los concesionarios o autorizados existentes que estarán sujetos a compartir espectro.
Tipos de títulos habilitantes	Categorización de tipos de autorizaciones a otorgar (i.e. uso libre, uso secundario, uso temporal, etc.).
Idoneidad	Características de quienes pueden ser sujetos de obtener autorizaciones para el uso compartido, condiciones y limitantes.
Plazos	Qué plazos máximos se aplica a cada autorización otorgada.
Restricciones específicas	Especificación de restricciones para el uso compartido en determinadas áreas (i.e. zonas fronterizas, zonas de silencio o de exclusión para proteger otros servicios como radiotelescopios, radares, etc.).
Gestión y control de la compartición	Elementos con los que el Instituto contará para la gestión de las autorizaciones (i.e. establecimiento de bases de datos automatizadas, sistemas de gestión, etc.) pudiendo, de ser el caso, autorizar a entidades privadas para la provisión de servicios de coordinación de frecuencias.
Obligaciones	Obligaciones de entrega de información técnica y administrativa sobre las operaciones de los autorizados para efectos de desarrollo de indicadores y supervisión de operaciones.

Elemento	Descripción
Salvaguardas	procedimientos administrativos para garantizar la continuidad y calidad de las operaciones de concesionarios o autorizados existentes sujetos a la compartición de espectro

Anexo. Condiciones Técnicas

Elemento	Descripción
Espectro identificado	Indicación de qué bandas de frecuencias o segmentos de bandas se habilitan para el uso compartido
Tecnologías	Tecnologías y esquemas de compartición habilitados para cada banda/servicio/aplicación (i.e. LAA, LSA, TVWS, etc.)
Servicios y aplicaciones	Servicios de radiocomunicaciones habilitados para proporcionarse a través del uso compartido (i.e. fijo, móvil, aficionados, etc.) Aplicaciones habilitadas para prestarse mediante servicios de uso compartido (i.e. Wi-Fi, IoT,)
Calidad	Parametrización de grado de calidad de los servicios bajo el uso compartido (servicios "Best Effort" vs garantía de continuidad)
Características técnicas	Para cada banda de frecuencias habilitada para la compartición: <ul style="list-style-type: none"> • Altura máxima de antenas • Potencia máxima de las emisiones (máscaras de emisión) • Ganancia máxima de antenas • Relaciones de protección contra interferencias • Condiciones para uso en interiores y/o exteriores

Elemento	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="781 241 1289 359">• Condiciones, en su caso para acceder a sistemas automáticos de coordinación o registro de usuarios

La estructura de la propuesta anterior, permite que las actualizaciones que se vayan dando conforme a la evolución e innovación tecnológica en materia de uso compartido y acceso dinámico al espectro, se incorporen a través de actualizaciones o modificaciones al anexo técnico de los lineamientos, que es en donde se contienen los aspectos técnicos clave para la operación de estas tecnologías.

Se estima indispensable que la modificación propuesta a la LFTR esté acompañada de la normatividad específica que detalle las condiciones y procedimientos bajo los cuales los concesionarios, autorizados, o en su caso, usuarios finales, podrán hacer uso de bandas de frecuencias bajo el principio de compartición, ya que de no ser así, permanecería en buen grado la incertidumbre regulatoria en el sector al carecer de lineamientos específicos para habilitar efectivamente estos mecanismos, con riesgos de su aplicación discrecional por parte de la autoridad, aplicación de la regulación deficiente o con sesgos, discriminación injustificada de determinadas tecnologías o tipos de esquemas de acceso compartido, riesgo de judicialización del sector por inconformidad de los regulados ante el actuar del regulador en este tema, entre otros que pudieran ir en contra del espíritu de la propuesta de habilitar el uso flexible del espectro en beneficio del uso eficiente del mismo.

Si bien la LFTR no cuenta con una disposición administrativa de carácter general que la reglamente de forma integral, esto no se observa como un obstáculo o impedimento para la efectiva aplicación de las modificaciones propuestas a la LFTR y la regulación derivada de tales propuestas; toda vez que la propia LFTR, de conformidad con el Artículo 15 fr. I, otorga al IFT la atribución de emitir, entre otros:

planes técnicos fundamentales, lineamientos, procedimientos de evaluación de la conformidad, procedimientos de homologación y certificación y ordenamientos técnicos en materia de telecomunicaciones y radiodifusión. En consistencia con ello, la práctica adoptada por el IFT ha sido la de emitir múltiples Acuerdos mediante los cuales el Pleno del Instituto establece diversos lineamientos o disposiciones de carácter general que reglamentan lo dispuesto por la LFTR. Por ello, se estima que con la emisión de los lineamientos de carácter general para establecer las condiciones y procedimientos bajo los cuales los concesionarios, autorizados, o en su caso, usuarios finales, puedan hacer uso de bandas de frecuencias bajo el principio de compartición, así como de las correspondientes disposiciones técnicas en la materia para la homologación de los equipos y dispositivos que se operarían bajo esta modalidad de uso del espectro, se lograría una efectiva regulación de este ecosistema, sin que la falta de un reglamento de la LFTR sea un impedimento para ello.

3.3. Evaluación de la Conformidad y Disposiciones Técnicas

En adición a las disposiciones regulatorias para el uso del espectro bajo esquemas de uso compartido, consistentes en las propuestas descritas en los numerales anteriores, es necesario brindar certidumbre a la industria de fabricantes, distribuidores y comercializadores de los dispositivos que operen con tecnologías de uso compartido, mediante la aplicación de procedimientos y esquemas de evaluación realizados por los organismos de evaluación de la conformidad acreditados, de conformidad con las disposiciones técnicas aplicables, de acuerdo con lo establecido en el Procedimiento de evaluación de la conformidad en materia de telecomunicaciones y radiodifusión⁹⁸, el cual indica que los productos pueden evaluarse a través de muestra por modelo de productos para un solo lote, muestra por modelo de productos y vigilancia para más de un lote, muestra por familia de

⁹⁸ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2020). “Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones expide el Procedimiento de evaluación de la conformidad en materia de telecomunicaciones y radiodifusión”. Diario Oficial de la Federación del 25 de febrero de 2021. Recuperado el 25 de julio de 2021 de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5587374&fecha=25/02/2021

modelos de producto y vigilancia o mediante muestra por dispositivo de telecomunicaciones o radiodifusión y vigilancia.

Con ello, y mediante la expedición de las disposiciones técnicas apropiadas, a través de las cuales se establezcan los requisitos técnicos y métodos de prueba apropiados para certificar que sus características son compatibles con la regulación nacional, aplicando los procedimientos de evaluación de la conformidad y los métodos de prueba aplicables a los equipos y dispositivos aptos para el uso compartido del espectro, se habilita una certificación expedita de los mismos, por lo que destaca la importancia de contar con las disposiciones técnicas necesarias para facilitar que los equipos y dispositivos que operan bajo dichos esquemas cuenten con una certificación ágil que permita su rápida introducción y puesta en marcha en el país.

Las disposiciones técnicas que emita el Instituto, evidentemente, deberán estar armonizadas con los Lineamientos para el Uso Compartido del Espectro y ser sujetas a revisión cada vez que el anexo técnico de los lineamientos se actualice.

4. Consideraciones finales

Las propuestas de regulación expuestas en el presente capítulo, son consistentes con el mandato del IFT de asegurar el uso eficiente del espectro, de acuerdo con los principios establecidos en el artículo Quinto Transitorio del Decreto de Reforma Constitucional en Materia de Telecomunicaciones del 11 de junio de 2013; en la fr. XLVIII del Art. 15 de la LFTR y con lo establecido en el entonces vigente Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2017-2018.

El planteamiento, implica llevar a cabo el correspondiente proceso legislativo para la aprobación de las enmiendas a la LFTR, lo que conlleva el establecimiento de los acuerdos necesarios entre las fuerzas políticas representadas en el Congreso de la Unión; de ahí que sea necesario el promover una reforma de este tipo al más alto nivel político, y asegurar que cuente con el apoyo previo de la industria, consumidores y de los entes de gobierno que puedan verse beneficiados con esta

nueva regulación. Asimismo, el papel del regulador debe ser fundamental para impulsar la adopción de la reforma a la LFTR que abra camino seguro a la implementación efectiva de los esquemas de uso compartido y acceso dinámico al espectro. En el mismo sentido, el IFT deberá llevar acabo los procesos consultivos correspondientes de conformidad con las mejores prácticas en materia de mejora regulatoria para asegurar que la emisión de los Lineamientos Generales para el Uso Compartido de bandas de frecuencias, así como de las disposiciones técnicas derivadas, considere las propuestas y opiniones de las partes interesadas en el ecosistema de uso compartido, a efecto de garantizar que la regulación emitida aporte beneficios cuantificables y significativos para el desarrollo del sector de telecomunicaciones de México.

Evidentemente, pueden existir otros mecanismos regulatorios diferentes o adicionales a los expuestos en este capítulo para la implementación regulatoria de los esquemas de uso compartido y acceso dinámico al espectro que pudieran implicar un grado diferente de esfuerzo y tiempo para su consecución. No obstante, el objetivo principal de este capítulo fue el de dejar de manifiesto que el marco regulatorio actual no provee los medios suficientes ni idóneos para que se pueda hacer un uso más eficiente del espectro a través de los mecanismos de uso compartido y flexible del espectro radioeléctrico, haciendo patente la necesidad de adecuar la normatividad nacional para conseguir un entorno más propicio para estos modelos de uso del espectro.



Conclusiones.

Conclusiones.

La conectividad y la digitalización se ha acelerado en las últimas décadas en buena medida gracias al empleo de tecnologías de comunicaciones inalámbricas, acompañándose de un fuerte y acelerado ritmo de avances en la microelectrónica, software y desarrollo de materiales; así como gracias al aumento en la eficiencia en los procesos de manufactura y el desarrollo de economías de escala globales, que en su conjunto han acercado a las masas los beneficios de las comunicaciones inalámbricas.

Sin embargo, estos desarrollos y el aumento en la demanda por el acceso a más y mejores servicios, están ejerciendo presión creciente en la utilización del espectro radioeléctrico, ya que si bien es cierto que se han identificado recientemente bandas de frecuencias adicionales propicias para la prestación de servicios de banda ancha, particularmente en bandas milimétricas (por encima de los 6 GHz), varias de estas bandas ya están atribuidas, o incluso, asignadas, por servicios distintos a los de banda ancha, por lo que la mera identificación de espectro no resulta suficiente por sí sola para dar cabida a todas las necesidades en materia de conectividad inalámbrica, ni con ello se da lugar *per sé* a la amplia gama de tecnologías que requieren acceder y utilizar el espectro de forma distinta al modelo tradicional de licencias o concesiones con derechos de exclusividad sobre el uso del espectro.

A lo largo del presente trabajo, se ha destacado la relevancia que tiene el uso eficiente del espectro radioeléctrico, poniendo de manifiesto la necesidad de adaptar los marcos normativos para habilitar esquemas innovadores que propicien el incremento en el grado de eficiencia del uso de este valioso y escaso recurso.

Si bien con el Decreto de Reforma Constitucional en materia de Telecomunicaciones y Radiodifusión de 2013, así como con la emisión de la LFTR de 2014, se actualizó la regulación nacional y el entramado institucional para promover el desarrollo de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión, ha quedado patente en este documento que dichas reformas han resultado

insuficientes para permitir la adopción de esquemas de uso alternativos del espectro, como es el caso de las tecnologías de acceso dinámico y uso compartido, lo que por ende, limita la posibilidad de hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico a través de este tipo de esquemas.

Los modelos de asignación de espectro con derechos de exclusividad sobre su uso basados en esquemas de “comando y control” como los descritos en el Capítulo 3 del presente trabajo, deben evolucionar hacia modelos de gestión de derechos de acceso por prioridad o coordinación; o hacia modelos regulatorios de “usar o compartir”, en los cuales se permita la entrada a usuarios alternativos del espectro, de forma tal que puedan llevar a cabo emisiones dentro de la misma banda de frecuencias sin afectar a los usuarios existentes, logrando así un uso más eficiente del espectro, generando nuevas oportunidades para la provisión de nuevos servicios, aplicaciones, incremento de la cobertura de servicios y aumento en los índices de conectividad nacional.

A través del breve repaso presentado en este documento, se han dado ejemplos de la regulación emitida por diversos países para implementar mecanismos de compartición de espectro, se ha aportado un panorama del estado del arte de las principales tecnologías creadas para este propósito, y se han brindado ideas y propuestas de reformas y emisión de regulación para el caso de México con las cuales se podría flexibilizar la manera en la cual se otorgan derechos para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, dando cabida a modelos alternativos de uso del espectro, lo que es consistente con los objetivos que el propio IFT se ha fijado en su Hoja de Ruta 2021-2025⁹⁹ respecto a la búsqueda de alternativas para fomentar este tipo de modalidades de uso del espectro de forma compartida y dinámica.

⁹⁹ Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2021). “*Hoja de Ruta 2021-2025*”. Recuperado el 01 de julio de 2021, de <http://www.ift.org.mx/conocenos/hoja-de-ruta-2021-2025>

De lo anterior, se destaca la propuesta de reforma a la LFTR, cuyo objeto es el optimizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico a través de la modificación de diversos artículos de la Ley que regulan el acceso compartido al espectro, dotando de mayor flexibilidad al régimen de concesiones y al uso del espectro, dotando al IFT de facultades específicas para propiciar el uso compartido del espectro entre diversos servicios y entre varios concesionarios de forma simultánea, estableciendo los requisitos y procedimientos para ello, salvaguardando en todo momento que la compartición ocurra en un ambiente libre de interferencias perjudiciales. Asimismo, se propone que el IFT, en complemento a la mencionada reforma a la LFTR, emita disposiciones de carácter general enfocadas a la regulación del uso compartido del espectro, consistentes en la publicación de lineamientos generales para el uso compartido de bandas de frecuencias, y en la emisión de las disposiciones técnicas que, como normas de carácter técnico de observancia obligatoria, aseguren que las especificaciones técnicas de los equipos y dispositivos que hagan uso del espectro bajo este tipo de modalidad, sean consistentes con las recomendaciones y estándares tecnológicos internacionales en la materia, de forma que con ello se establezcan los procedimientos aplicables para la homologación de dispositivos y equipos con tecnologías para el uso compartido del espectro de conformidad con lo establecido en los Artículos 289 y 290 de la LFTR.

Es previsible que en el futuro surjan nuevas propuestas tecnológicas enfocadas en la compartición de espectro entre diversos tipos de servicios, toda vez que la evolución tecnológica, conformada por los avances en la microelectrónica, software, Inteligencia Artificial, *Big Data*, cómputo en la frontera, entre otros, hagan más viables estos esquemas en términos costo-beneficio, con lo que se harán más relevantes para la adecuada gestión y administración del espectro, debido a que la disponibilidad de este recurso es más limitada conforme va siendo ocupado por diversos servicios, lo que hará necesario, inevitablemente, establecer mecanismos para compartir el espectro entre diversos servicios para dar cabida a la mayor cantidad posible de estos, al mismo tiempo que se mantiene la operación de todos en convivencia simultánea sin interferencias perjudiciales, gracias al soporte de las tecnologías antes citadas, que permitirán gestionar y coordinar de manera

altamente eficiente el control de las emisiones por parte de todos los transmisores que estén compartiendo simultáneamente el espectro en una zona determinada.

No debe perderse de vista que la regulación, especialmente la dedicada a los sectores de tecnologías de la información y las comunicaciones, debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a la rápida y frecuente evolución en las tecnologías, de tal forma que las autoridades puedan dar una respuesta oportuna a las necesidades y propuestas innovadoras que surgen por parte de la industria, permitiéndoles llevar a cabo pruebas de concepto de nuevas tecnologías, validación de casos de negocio proporcionando un entorno regulatorio de carácter colaborativo, en donde puedan converger de manera fluida los intereses del regulador, de la industria, academia, usuarios y demás partes interesadas que puedan colaborar de forma conjunta para el desarrollo de entornos regulatorios modernos que brinden la confianza y certidumbre necesaria para fomentar la inversión y el desarrollo de tecnología e infraestructura para dotar de más y mejores servicios de telecomunicaciones a la sociedad.

El fin principal de este documento ha sido aportar algunas propuestas bajo las cuales, desde la óptica del autor, puede empezarse a abrir brecha para modernizar el marco normativo nacional en materia de gestión del espectro radioeléctrico, focalizado en este caso en la compartición del espectro, pero esta es solo una de las muchas piezas que conforman la regulación nacional en materia de TIC, ya que la aparición de nuevas aplicaciones, tecnologías y modelos de negocio, los cambios en las necesidades y preferencias de los usuarios, el surgimiento de nuevos riesgos y amenazas en el mundo digital, entre otros aspectos; nos debe obligar a replantear, cuanto antes, el modelo de gobernanza regulatoria, para transitar hacia modelos altamente adaptables, convergentes, flexibles, neutros a la tecnología, con ciclos cortos de revisión y adecuación y con el menor costo posible de cumplimiento para los sujetos obligados.

Solo de esta forma, México podrá hacer frente de forma eficaz a los retos que nos plantea el futuro tecnológico, ya que, de no hacerlo, se corre el riesgo de quedar

en el “tercer mundo” tecnológico. En materia de tecnologías de la información y comunicaciones, debe tenerse presente en el diseño de políticas públicas y regulación que, parafraseando al filósofo griego Heráclito (535-470 a.C.), “lo único constante, es el cambio”.

Bibliografía

- A. B. Flores, R. E. (2013). IEEE 802.11af: A standard for TV white space spectrum sharing. *IEEE Communications Magazine*, 51(10), 92-100.
doi:10.1109/MCOM.2013.6619571
- Broadcom. (2016). *Unlicensed LTE Interference to Wi-Fi*. Recuperado el 21 de octubre de 2021, de FCC: <https://ecfsapi.fcc.gov/file/60001534034.pdf>
- C. Cordeiro, K. C. (2005). IEEE 802.22: The first worldwide wireless standard based on cognitive radios. *First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, (págs. 328-337). Baltimore. doi:10.1109/DYSPAN.2005.1542649
- Carter, K. (2009). *Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy*. SSRN. Recuperado el 18 de noviembre de 2020, de <https://papers.ssrn.com/abstract=1522038>
- ChunSheng, X., & Min, S. (2015). *Spectrum Sharing for Wireless Communications*. Springer.
- Comisión Europea. (2021). *RSPG Report on Spectrum Sharing*. Bruselas, Bélgica. Recuperado el 06 de septiembre de 2021, de https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/02/RSPG21-016final_RSPG_Report_on_Spectrum_Sharing.pdf
- Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT). (2021). *Spectrum sharing - LSA Implementation*. Recuperado el 13 de octubre de 2021, de <https://www.cept.org/ecc/topics/lsa-implementation>
- Congreso de la Unión. (2001). Ley General de Bienes Nacionales. Recuperado el 2021 de abril de 03, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_190118.pdf
- Congreso de la Unión. (2014). Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Ley. (D. o. Federación, Ed.) México. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5352323&fecha=14/07/2014
- Connectivity Wireless. (2019). *CBRS: What is it and how does it work?* Recuperado el 03 de 04 de 2021, de <https://connectivitywireless.com/cbrs/>
- Course Hero. (2020). *Integración de un sistema de información con la Base de Datos Taller de integración de Software Instituto IACC*. Recuperado el 9 de octubre de 2022, de <https://www.coursehero.com/file/65016558/IACC-Tarea8docx/>

- Cuevas, J. (2017). Espacios blancos de la TV para zonas rurales. *CPRLATAM Conference, Cartagena Colombia*. Recuperado el 04 de abril de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/318279621_Espacios_blanco_de_la_TV_para_zonas_rurales
- D. Borth, R. E. (2008). Considerations for Successful Cognitive Radio Systems in US TV White Space. *2008 3rd IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. Chicago: IEEE. doi:10.1109/DYSPAN.2008.61
- Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. (2013). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 13 de abril de 2021, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301941&fecha=11/06/2013
- Diario Oficial de la Federación. (1917). Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 4 de abril de 2021, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_080520.pdf
- Días-Granados, C., Hope, M., Ng, I., & Schepers, H. (2019). *Enhancing Connectivity Through Spectrum Sharing*. Policy Impact Partners & Dynamic Spectrum Alliance. Recuperado el 5 de septiembre de 2021, de <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2019/10/Enhancing-Connectivity-Through-Spectrum-Sharing.pdf>
- Dominik Mueck, M., Srikanteswara, S., & Badic, B. (2015). *Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS)*. White Paper, Intel. Recuperado el 31 de 03 de 2021, de <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/spectrum-sharing-lsa-sas-paper.pdf>
- Electronic Communications Committee. (2009). *ECC Report 132 Light Licensing, Licence-Exempt and Commons*. European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, Moscú. Recuperado el 12 de octubre de 2021, de <https://docdb.cept.org/download/538>
- Ericsson. (2018). *Advanced antenna system for 5G Network|Whitepaper*. Recuperado el 04 de abril de 2021, de <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/advanced-antenna-systems-for-5g-networks>
- European Telecommunications Standards Institute. (2014). *ETSI EN 301 598 White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive*. Recuperado el 04 de 04 de 2021, de

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301598/01.01.01_60/en_301598v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2014). *ETSI TS 103 154: Reconfigurable Radio Systems (RRS); System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band under Licensed Shared Access (LSA)*. Francia: ETSI. Recuperado el 31 de 03 de 2021, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103100_103199/103154/01.01.01_60/ts_103154v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2017). *5 GHz RLAN; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU*. ETSI. Recuperado el 31 de 03 de 2021, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_EN/301800_301899/301893/02.01.01_60/en_301893v020101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2019). *EN 300 328 V2.2.2 Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz band; Harmonised Standard for access to radio spectrum*. Recuperado el 31 de 03 de 2021, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300300_300399/300328/02.02.02_60/en_300328v020202p.pdf

Federal Communications Commission. (2020). *Federal Communications Commission*. Recuperado el 03 de 04 de 2021, de 3.5 GHz Band Overview: <https://www.fcc.gov/35-ghz-band-overview>

Fette, B. A. (2006). *Cognitive Radio Technology*. (B. A. Fette, Ed.) Newnes. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-075067952-7/50002-7>.

Han, Y., Ekici, E., Kremos, H., & Altintas, O. (2016). Spectrum sharing methods for the coexistence of multiple RF systems: A survey. *Ad Hoc Networks*, 53, 53-78. Recuperado el 18 de octubre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870516302153>

Holland, O., Bogucka, H., & Medeis, A. (2015). *Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access. The Practical Reality*. New Jersey: Wiley.

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2017). *Medición de la Eficiencia Espectral. Definición y consideraciones a observar para su aplicación en México*. Recuperado el 9 de octubre de 2022, de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/13534/documentos/mediciondelaeficienciaespectralsc.pdf>

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). *Acuerdo mediante el cual el Pleno del IFT emite los Lineamientos para el otorgamiento de la Constancia*

de Autorización, para el uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5520397&fecha=23/04/2018

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). *Inventario de Bandas de Frecuencias Clasificadas como Uso Libre.* Recuperado el 16 de 04 de 2021, de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2019). *Acuerdo Mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones Aprueba los Elementos a Incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radieléctrico 2019-2024.* Recuperado el 1 de julio de 2021, de http://www.ift.org.mx/sites/default/files/pner_2019-2024.pdf

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2020). *Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones expide el Procedimiento de evaluación de la conformidad en materia de telecomunicaciones y radiodifusión.* (S. d. Gobernación, Ed.) Recuperado el 25 de julio de 2021, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5587374&fecha=25/02/2020

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2021). *Hoja de Ruta 2021-2025.* Recuperado el 01 de julio de 2021, de <http://www.ift.org.mx/conocenos/hoja-de-ruta-2021-2025>

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2021). *Programa Anual de Trabajo correspondiente al año 2021.* Recuperado el 01 de julio de 2021, de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdologia/pat28012117.pdf>

Kalliovaara, J., Jokela, T., Kokkinen, H., & Paavola, J. (2018). Licensed Shared Access Evolution to Provide Exclusive and Dynamic Shared Spectrum Access for Novel 5G Use Cases. *Cognitive Radio in 4G/5G Wireless Communication Systems.* doi:10.5772/intechopen.79553

Koorapaty, H. (2020). *3GPP technologies in unlicensed spectrum: A contributor to the common good.* (Ericsson, Editor) Recuperado el 31 de 03 de 2021, de <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/9/3gpp-technologies-unlicensed-spectrum>

Majumdar, S. K., Vogelsang, I., & Cave, M. E. (2002). *Handbook of Telecommunications Economics.* Elsevier.

Martínez Cruz, G., Castro Jaramillo, R. C., & Castañeda Álvarez, R. (2017). *Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro.* Ciudad de México: Instituto Federal de Telecomunicaciones. Recuperado el 31 de

03 de 2021, de
http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/tecnologiasdeaccesodinamicoyusocompartidodelespectro_0.pdf

National Archives. (2021). *Code of Federal Regulations*. Recuperado el 13 de octubre de 2021, de 47 CFR Part 15 Subpart H -- White Space Devices: <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15/subpart-H>

National Instruments. (2019). *5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality*. Recuperado el 04 de 04 de 2021, de <https://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/14/5g-massive-mimo-testbed--from-theory-to-reality--.html>

National Telecommunications and Information Administration. (2015). *Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management*. NTIA. Recuperado el 04 de 04 de 2021, de <https://www.ntia.doc.gov/page/2011/manual-regulations-and-procedures-federal-radio-frequency-management-redbook>

Ofcom. (2019). *Enabling wireless innovation through local licensing*. Reino Unido. Recuperado el 17 de abril de 2021, de https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0033/157884/enabling-wireless-innovation-through-local-licensing.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2014). *New Approaches to Spectrum Management*", *OECD Digital Economy Papers*, No. 235. OECD, OECD Digital Economy Papers,. París: OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/5jz44fnq066c-en>

Prasad, R., & Sridhar, V. (2013). Moving from command and control. En I. T. (ITS) (Ed.), *24th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "Technology, Investment and Uncertainty"*. Florencia, Italia: International Telecommunications Society (ITS). Recuperado el 2020, de <http://hdl.handle.net/10419/88535>

RF Wireless World. (s/f). *5G Massive MIMO Antenna Array, 5G NR Base Station Antenna Manufacturers*. Recuperado el 04 de 04 de 2021, de <https://www.rfwireless-world.com/Vendors/5G-Massive-MIMO-Antenna-Array-manufacturers.html>

Tehrani, R., Vahid, S., Triantafyllopoulou, D., Lee, H., & Moessner, K. (2016). Licensed Spectrum Sharing Schemes for Mobile Operators: A Survey and Outlook. En *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 4, (págs. 2591-2623). doi:10.1109/COMST.2016.2583499

- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2009). *Informe UIT-R SM.2152 Definiciones de sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) y sistema radioeléctrico cognoscitivo (SRC)*. Ginebra: UIT. Recuperado el 29 de 03 de 2021, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2011). *Report ITU-R M.2225 Introduction to cognitive radio systems in the land mobile service* . Ginebra: UIT. Recuperado el 29 de 03 de 2021, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2225-2011-PDF-E.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). *Report SM.2405-1 Spectrum management principles, challenges and issues related to dynamic access to frequency bands by means of radio systems employing cognitive capabilities*. Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recuperado el 29 de 03 de 2021, de <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2405-1-2021>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones y Banco Mundial. (2020). *Digital Regulation Handbook*. Ginebra. Recuperado el 15 de 04 de 2021, de <https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/08/31/09/09/Digital-Regulation-Handbook#>
- Wikipedia. (2022). *Erlang (unidad)*. Recuperado el 09 de octubre de 2022, de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Erlang_\(unidad\)&oldid=14518035](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Erlang_(unidad)&oldid=14518035)

ANEXOS

ANEXO 1. Muestra de países que han implementado acciones regulatorias relacionadas con el uso compartido de espectro

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
Austria	<p>No</p> <p>RTR emitió una consulta pública con vigencia hasta el 30 de agosto de 2019 sobre las bandas 2.3 GHz y 26 GHz.</p> <p>La consulta exploró la posibilidad de otorgar licencias a nivel nacional en la banda de 2.3 GHz (Tabla) que estarían sujetas a LSA con el uso existente para cámaras inalámbricas y telemetría. Sin embargo, el documento exploraba principalmente la demanda de espectro de las partes interesadas en la banda, sin hacer propuestas detalladas sobre cómo se organizaría el intercambio.</p>	<p>No</p>
Finlandia	<p>No</p> <p>Pero Traficom fomenta los experimentos mediante la concesión de licencias de prueba.</p> <p>(Comunicado de prensa del 18 de enero de 2019)</p>	<p>Sí</p> <p>El Decreto del Gobierno 1246/2014 asignó la banda de 470-694 MHz para la radio cognitiva sobre una base no protegida y sin interferencias.</p>

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
Francia	<p>No</p> <p>Red Technologies, una compañía que proporciona soluciones LSA a los operadores, pudo realizar un piloto de LSA de enero a abril de 2016 en la banda de 2.3-2.4 GHz, en París. En la consulta de marzo de 2017 sobre la necesidad de espectro adicional (Actualización), ARCEP mencionó que el LSA dinámico podría implementarse en la banda de 2.3 GHz, pero que habría que evaluar la compatibilidad con los sistemas existentes del Ministerio de Defensa.</p>	<p>No</p>
Irlanda	<p>No</p>	<p>No</p> <p>El sistema de licencias de prueba y ensayo de ComReg ofrece a los usuarios del espectro la oportunidad de solicitar licencias de prueba temporales dentro de la banda de 470-790 MHz para la tecnología de acceso dinámico al espectro.</p> <p>En abril de 2019, se lanzó un proyecto piloto conjunto de Microsoft, Ballyhaise Agricultural College y Net1 para utilizar espacios en blanco de TV para banda ancha de alta velocidad en tierras agrícolas en</p>

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
		Ballyhaise.
Italia	<p>Sí</p> <p>Se adoptó un marco de compartición en la banda 3.6-3.8 y 26.5-27.5 GHz (p.67 de las reglas de la subasta).</p> <p>Tras la consulta de AGCOM de julio de 2016 sobre la arquitectura del marco para el uso compartido, se identificó la banda de 2.3-2.4 GHz como candidata para la compartición (la cual se utiliza para enlaces fijos, PMSE y aplicaciones militares, pero también para pilotos de LSA). (Decisión 121/16/CONS de la AGCOM; Actualización; Sitio web del Ministerio; presentación de diapositivas)</p>	No
Países Bajos	<p>No</p> <p>La Agencia de Radiocomunicaciones comenzó en septiembre de 2016 un piloto de LSA en la banda de 2.3-2.4 GHz para enlaces de video móviles.</p> <p>La agencia creó un sistema de reservas online donde los interesados pueden reservar un canal en una zona</p>	No

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
	determinada durante un total de dos días consecutivos.	
Portugal	<p>No</p> <p>En enero de 2018, ANACOM y sus socios lanzaron el Estudio sobre el Modelo Espectro Compartido mediante Acceso Compartido por Licencia (LSA). . El regulador publicó el informe final del estudio el 15 de septiembre de 2020, que concluye que la implementación del modelo LSA en Portugal es factible y alcanzable.</p>	No
Eslovaquia	No	<p>No</p> <p>Towercom, el principal proveedor de radiodifusión televisiva, formó parte del proyecto financiado por la UE sobre radio cognitiva para el uso eficiente de los espacios en blanco.</p>
España	Sí	No

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
	<p>El Real Decreto 123/2017 sobre espectro permite LSA en bandas que se identificarán en el Plan Nacional de Frecuencias (Actualización).</p> <p>La LSA puede ser impuesta por la ANR del espectro (Ministerio de Economía) para hacer un uso más eficiente del espectro:</p> <p>n zonas geográficas en las que los derechos de uso del espectro están infrautilizados.</p> <p>Cuando lo permita la tecnología, de manera compatible con derechos anteriores y de forma coherente con las medidas de armonización de la UE aplicables.</p> <p>Plan 5G: el ministerio analizará la posibilidad de LSA en la banda de 2,3-2,4 GHz (actualmente utilizada para aplicaciones de telemetría y enlaces de radio de TV móvil).</p> <p>Todavía no hay acciones de seguimiento.</p>	
Suecia	<p>No</p> <p>Sin embargo, se prevé la posibilidad de permitir el uso compartido del espectro en las condiciones de licencia en los 700 MHz y 3,5 GHz, con la condición de que se priorice y</p>	<p>No</p>

País	<i>Licensed Shared Access</i>	<i>White Spaces</i>
	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?	¿Propuesta de regulación emitida por la autoridad regulatoria?
	proteja el uso del licenciataria principal.	
Reino Unido	<p>Sí</p> <p>Ofcom publicó una declaración sobre el Marco para el uso compartido del espectro el 14 de abril de 2016. La declaración establece el marco que Ofcom aplicará a las futuras decisiones de autorización del espectro para evaluar las oportunidades de uso compartido del espectro.</p> <p>Junto con esta declaración, Ofcom publicó una convocatoria de aportes que invitaba a las partes interesadas a comentar sobre la primera nueva oportunidad que Ofcom está considerando bajo el marco, para la banda de 3.8-4.2 GHz.</p>	<p>Sí</p> <p>Ofcom publicó una declaración el 12 de febrero de 2015 aprobando el uso de espacios en blanco de TV en la banda de 470-790 MHz. Para evitar interferencias a los usuarios de TDT y PMSE de la banda, las bases de datos aplicarán reglas, establecidas por Ofcom, para poner límites a los niveles de potencia a los que pueden operar los dispositivos de espacio en blanco (Actualización).</p>

Fuente: Elaborado con información de: Kronegger, D. (2021). "Licensed shared access and white spaces". Recuperado el 15 de octubre de 2021, de Cullen International website: <https://www.cullen-international.com/client/site/documents/CTSPEU20210007>

ANEXO 2. Resumen de Solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias para su concesionamiento para uso privado en marco de los PABF

Año	Solicitudes de inclusión recibidas para concesiones de uso privado		Bandas publicadas en el PABF para uso privado	Referencias
	Para la publicación inicial del PABF	Para la modificación del PABF		
2015	1	8	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2015. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_pabf_2015.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2015. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/p_ift_ext_260315_70.pdf
2016	3	1	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2016. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_mediante_el_cual_el_pleno_emite_el_programa_2016.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2016. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_pabf_2016.pdf

Año	Solicitudes de inclusión recibidas para concesiones de uso privado		Bandas publicadas en el PABF para uso privado	Referencias
	Para la publicación inicial del PABF	Para la modificación del PABF		
2017	11	6	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2017. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_mediante_el_cual_el_pleno_emite_programa_2017.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2017. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_mediante_el_cual_el_pleno_modifica_el_programa_2017.pdf
2018	5	2	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2018. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/P_IFT_241117_794_Acuerdo.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2018. Considerando Tercero Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/1-acuerdo.pdf

Año	Solicitudes de inclusión recibidas para concesiones de uso privado		Bandas publicadas en el PABF para uso privado	Referencias
	Para la publicación inicial del PABF	Para la modificación del PABF		
2019	2	0	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2019. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/ACUERDO_PABF_2019_VF.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2019. Considerando Tercero Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdomedianteelcualelplenomodificaelprograma2019.pdf
2020	6	55	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2020. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_mediante_el_cual_el_pleno_emite_el_programa_2020.pdf • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2020. Considerando Tercero Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_modificacion_programa_vf.pdf

Año	Solicitudes de inclusión recibidas para concesiones de uso privado		Bandas publicadas en el PABF para uso privado	Referencias
	Para la publicación inicial del PABF	Para la modificación del PABF		
2021	1	3	0	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT emite el PABF 2021. Considerando Tercero. Disponible en: http://www.ift.org.mx/industria/espectro-radioelectrico/programa-anual-de-uso-y-aprovechamiento/programa-anual-2021 • Acuerdo Mediante el cual el Pleno del IFT modifica el PABF 2021. Considerando Tercero Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_mediante_el_cual_el_pleno_modifica_el_programa_2021.pdf

TOTAL	29	75	0
--------------	-----------	-----------	----------

Fuente: Elaboración propia con datos del IFT

Índice de términos

3GPP	17, 66, 69, 70, 73, 74
5G.65, 66, 68, 69, 73, 100, 143, 146, 152	
Acceso administrado	3
Acceso Compartido Licenciado (LSA) ..	5, 7, 8, 9, ii, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 96, 108, 118, 131, 149, 150, 151, 152
Acceso General Autorizado (GAA)	86
Acceso Licenciado Asistido (LAA) 5, 7, 9,	ii, 69, 70, 71, 73, 74, 76, 82, 118, 131
<i>Bluetooth</i>	15, 49, 51, 52, 87
Carter	41
CBRS	51, 85
ChunSheng	57
Comisión Interamericana de	
Comunicaciones	17
concursos de belleza	25
Conferencia Mundial de	
Radiocomunicaciones	ix, 17, 20
Cramton	25
Cuadro Nacional de Atribución de	
Frecuencias	10, 5, 6, 47, 119
DECT	15, 87
DSP	56
Ericsson	68, 69, 70, 73
Erlang	15
Espectro radioeléctrico . i, ii, iii, iv, v, vi, ix,	xi, 1, 2, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 33, 36, 46, 102, 103, 106, 107, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 123, 124, 127
Espectro Radioeléctrico	
Bandas	15
Concesión	46
eficiencia 5, i, ii, iii, iv, 23, 26, 27, 28,	29, 30, 31, 33, 34, 38, 41, 49, 52, 117, 118, 120, 123, 125, 126, 127, 134
gestión..... 5, 9, i, v, vi, ix, xi, 6, 8, 9, 15,	16, 18, 19, 20, 21, 41, 43, 44, 48, 50, 55, 60, 100, 113, 114, 115, 117
Reservado	47
Uso compartidox, 3, 34, 41, 88, 116,	119
Uso experimental	104
Uso libre .7, 2, 5, 47, 48, 64, 70, 71, 73,	75, 76, 82, 101, 102, 118, 130
Uso privado	102
Uso secundario	106, 107, 108, 130
Estrategia IFT 2021-2025	iii, 114
evaluación de la conformidad	133, 134
Faraday, Michael	13
<i>Federal Communications Commission</i>	
(FCC)	85
FGPA	57
Heráclito	141
homologación	20, 87, 91, 133, 139
Instituto de Ingenieros en Electricidad y	
Electrónica	18, 3, 35, 81, 82, 142
Instituto Europeo de Normas de	
Telecomunicaciones 15, 71, 76, 77, 78,	82
Instituto Federal de Telecomunicaciones	
.. 4, vi, x, 4, 10, 12, 17, 18, 32, 74, 101,	106, 107, 109, 112, 114, 116, 120, 133, 138
Unidad de Espectro Radioeléctrico ..21,	31, 32
interferencias perjudiciales ...ix, x, xi, 1, 2,	4, 16, 17, 49, 52, 55, 63, 81, 86, 95, 108, 119, 120, 127, 139
Maxwell	13
Ley Federal de Telecomunicaciones y	
Radiodifusión vi, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 18,	19, 23, 27, 28, 29, 45, 87, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 111, 112, 117, 118, 119, 129, 132, 133, 134, 139
Ley General de Bienes Nacionales	11, 10, 11, 12
Licencias de Acceso Prioritario (PAL) .85,	86
licitación	103
LTE	17, 66, 70, 71, 73, 74, 75, 79
MIMO 5, 7, 9, 12, ii, 64, 65, 66, 67, 68, 69	

MU-MIMO	7, 9, 65, 66	SISO	64
New Radio Unlicensed (NR-U).....	73	Sistemas de Acceso al Espectro (SAS) 6,	8, 9, ii, 78, 82, 83, 84, 108
Ofcom	94, 95, 154	Smartphone	18
Programa Anual de Uso y		Software	18
Aprovechamiento de Bandas de		subasta	24, 25, 85, 104, 151
Frecuencias (PABF)...	6, 105, 106, 155	SU-MIMO.....	65
Programa Nacional de Espectro		Técnicas de espectro disperso.....	4
Radioeléctrico ...	6, 23, 28, 30, 31, 112,	Teoría Electromagnética	13
	113, 134	Tragedia de los Comunes	42
Programas y Eventos Especiales		TV White Spaces (TVWS) ...	7, 80, 81, 82,
(PMSE).....	96, 151, 154		131
Radio Cognitivo	9, 56, 57, 58, 60, 61, 62,	Unión Internacional de	
	63, 81	Telecomunicaciones	i, v, vi, ix, 9, 11,
Radio definido por software	59, 60		15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 42, 43, 47,
Reglamento de Radiocomunicaciones			49, 50, 56, 58, 59, 61, 71, 99, 112
(RR).....	v, 9, 10, 11, 15, 17, 43, 47	Uso Industrial, Científico y Médico (ISM)	
RFID	52, 87	1, 2, 87
RLAN	95, 96	Wi-Fi	18, 49, 51, 52, 66, 70, 73, 74, 87,
Hertz	13		131
Sandbox.....	17, 115	Zigbee.....	18, 52, 87
sensing	3		