

## TECNOLOGÍAS DE ACCESO DINÁMICO Y USO COMPARTIDO DEL ESPECTRO

*Technologies of dynamic access and shared use of the radioelectric spectrum*

Submetido(submitted): data de submissão

Parecer(revised): \*deixar em branco\*

Aceito(accepted): \*deixar em branco\*

Gerardo Martínez Cruz\*

### Abstract

**Purpose** – *The quest to reduce the digital divide and increasing the traffic capacity of mobile networks to meet the demand for future connectivity led the Federal Institute of Telecommunications (IFT), through the Directorate of Engineering and Technology.*

**Methodology** – *Analysis of the state of the art of the technologies of dynamic access and shared use of the radioelectric spectrum (TADUCE) in order to identify those that are susceptible to adoption in Mexico. The technologies analyzed in the research are those based on LTE (Long Term Evolution) that operate in frequency bands of free use, emerging technologies based on MIMO, Cognitive Radio (RC), Device-to-Device (D2D) and TV White Spaces (TVWS) communications.*

**Findings** – *The DIT establishes different recommendations that the IFT must consider in order for these technologies to be optimally implemented in the country.*

**Keywords:** *Technologies of Dynamic Access. Shared Use Spectrum. Massive MIMO. Device-to-Device.*

### Resúmen

**Propósito** – En su preocupación por reducir la brecha digital y en busca de incrementar la capacidad de tráfico de las redes móviles para satisfacer la demanda de conectividad futura, el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), a través de la Dirección de Ingeniería y Tecnología (DIT).

**Metodología** – Analiza del estado del arte de las tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro radioeléctrico (TADUCE) con la finalidad de identificar aquellas que sean susceptibles de adopción en México. Las tecnologías analizadas en la investigación son aquellas basadas en LTE (Long Term Evolution) que operan en bandas de frecuencia de uso libre; tecnologías emergentes basadas en MIMO; Radio Cognitivo (RC); Comunicaciones Device-to-Device (D2D) y TV White Spaces (TVWS).

---

\*Ingeniero en Telecomunicaciones por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente, Gerardo es estudiante de la Maestría en Derecho de las TIC en el INFOTEC, con especialidad de Derecho de las Telecomunicaciones, y se desempeña como Subdirector de Ingeniería del Espectro en el Instituto Federal de Telecomunicaciones. E-mail: [gerardo.martinezc@ift.org.mx](mailto:gerardo.martinezc@ift.org.mx).

**Resultados** – La DIT establece diferentes recomendaciones que el IFT debe considerar para que dichas tecnologías se implementen óptimamente en el país.

**Palavras-chave:** Tecnologías de Acceso Dinámico. Espectro Compartido. Massive MIMO. Device-to-Device.

## INTRODUÇÃO

Actualmente, el mundo está experimentando una revolución tecnológica en las comunicaciones inalámbricas, principalmente impulsada no sólo por el desarrollo de nuevas tecnologías y a la aparición de nuevos dispositivos con acceso a internet, sino que gracias a las aplicaciones móviles, las personas han expandido su interacción alrededor del mundo. Por ejemplo, mediante el comercio electrónico, las redes sociales, el almacenamiento de información en la nube y los servicios de gobierno digital. Así, las comunicaciones móviles hoy en día forman parte de un complejo y dinámico ecosistema digital, en el cual éstas son una pieza fundamental para que las personas y las cosas puedan comunicarse no sólo en el mundo físico sino además en el mundo virtual.

En consecuencia, la demanda de tráfico móvil crece exponencialmente desde hace varios años y la tendencia continúa. Al respecto, se espera que para el 2021, el 73% del tráfico de internet global sea transmitido de forma inalámbrica (siendo el 27% restante para tráfico cableado), del cual el 53% será a través de redes WiFi y el 20% a través de las redes celulares (CISCO, 2017). En este sentido, también se espera que para el año 2021 existan más de 27 billones de dispositivos conectados, cuyo tráfico de datos móviles será de aproximadamente 48.3 exabytes al mes (CISCO, 2017).

Por consiguiente, las Agencias Regulatorias Nacionales (ARN) se ven en la necesidad de implementar planes de acción que permitan liberar bandas de frecuencias para la utilización de las comunicaciones móviles. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones se ven superadas por la demanda de tráfico móvil y a que la duración de la implementación de dichos planes no es inmediata, ya que en la mayoría de los casos son procesos largos, complicados y muchas veces costosos. Por otro lado, es también un hecho que no todas las personas gozan de los beneficios que conllevan las comunicaciones inalámbricas, debido a que no cuentan con los recursos suficientes para adquirir los dispositivos inteligentes y, sobre todo, que existen numerosos núcleos de población que siguen sin contar con conectividad de banda ancha inalámbrica.

Así las cosas, en su preocupación por reducir la brecha digital y en su búsqueda de incrementar la capacidad de tráfico de las redes móviles, la industria de las telecomunicaciones y la academia, en conjunto con las ARN, han sumado esfuerzos para buscar alternativas tecnológicas que resuelvan los

problemas de conectividad. Estas alternativas se caracterizan por ser rápidas en su implementación y por contar con altas velocidades de transmisión con una calidad de servicio aceptable, a la vez que permiten hacer un uso más eficiente el espectro radioeléctrico.

Por esta razón, aproximadamente en la última década se han investigado aquellas tecnologías que permiten hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico al implementar esquemas de acceso dinámico en el dominio del tiempo, del espacio y de la frecuencia. De forma general, con estas tecnologías se busca optimizar el espectro radioeléctrico de forma tal que técnicamente sea posible compartirlo entre varios usuarios; bajo diversos mecanismos que permitan el uso o explotación de las frecuencias o mediante la implementación de medidas de coexistencia técnico-regulatorias que aseguren la correcta convivencia de los usuarios.

Además, gracias a estas tecnologías es posible que varios tipos de servicios puedan converger en una misma zona geográfica e incluso en la misma frecuencia. Asimismo, con este tipo de tecnologías se puede utilizar aquel espectro concesionado que se considera como “no utilizado” en determinadas zonas geográficas debido a que, por cuestiones de inviabilidad económica o dificultades geográficas, los concesionarios del espectro no despliegan infraestructura de red.

Por lo anterior, las TADUCE son catalogadas como disruptivas, ya que su forma de operar es radicalmente diferente al régimen tradicional de asignación de espectro donde se otorgan concesiones de largo plazo que conllevan derechos de uso exclusivo del espectro en términos de frecuencias y área geográfica a servir. Por esta razón, estas tecnologías pueden no ser compatibles con el esquema tradicional de asignación de espectro y enfrentar vacíos e impedimentos regulatorios que hagan inviable su implementación bajo un régimen que brinde la certeza jurídica necesaria para generar confianza en los potenciales inversionistas de este tipo de tecnologías.

Bajo este tenor, la DIT elaboró el estudio que lleva por nombre “Tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro”, en el cual se expone y analiza el estado del arte de las tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro radioeléctrico con la finalidad de identificar aquellas que sean susceptibles de adopción en México. La presente investigación contiene las ideas principales del estudio antes mencionado.

## DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS

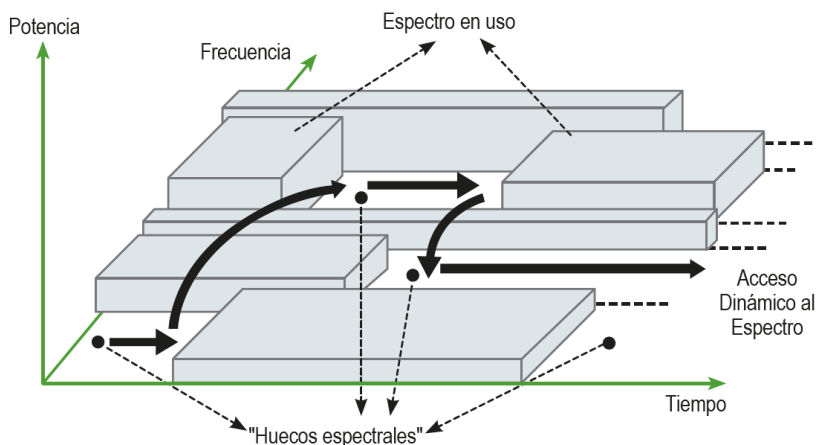
En la compartición del espectro es necesaria la participación coordinada de las siguientes partes:

- ANR: es la autoridad facultada para la administración del espectro radioeléctrico y se encarga de autorizar, a través de un título habilitante, el uso del espectro a cualquier interesado que desee hacer un uso del mismo.
- Usuario Titular (UT): es un usuario del espectro radioeléctrico existente en una determinada banda de frecuencias, el cual tiene derechos a través de un título habilitante en el uso del espectro en un área geográfica determinada durante el tiempo establecido por la ANR.
- Usuario Entrante (UE): es un usuario que busca tener acceso al espectro radioeléctrico perteneciente a un UT.

Tanto los UT como los UE pueden utilizar el espectro para fines comerciales o públicos. La utilización del espectro radioeléctrico para uso comercial confiere el derecho a los usuarios para explotar las bandas de frecuencias con fines de lucro. Por otro lado, el uso del espectro para fines públicos implica que los usuarios utilicen el espectro sin fines de lucro (siendo los principales usuarios de este tipo de espectro las entidades gubernamentales).

Generalmente, los UE son quienes utilizan las TADUCE. Para esto, las TADUCE usan de forma adaptativa las partes del espectro asignado a los UT, detectando el canal de comunicación y posteriormente determinando una estrategia adecuada de transmisión que no afecte las comunicaciones de los UT. De los esquemas de compartición de espectro existentes, el más utilizado es el interweaving (Molisch, 2010).

En el esquema interwaving, los sistemas de transmisión transmiten en los espacios espectrales libres o “huecos espectrales” (véase Figura 1) (Molisch, 2010). Así, los sistemas de transmisión deben tener la habilidad de determinar si la señal de un transmisor de un UT se encuentra espacialmente presente en una determinada parte del espectro. Para esto, los sistemas de transmisión “escuchan” su entorno para saber la ocupación espectral. Después, el sistema de transmisión realiza un reporte de la información obtenida. Finalmente, se difunde la información a los sistemas que estén conectados al sistema de transmisión.



**Figura 1** - Utilización de los Huecos Espectrales

## ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO DINÁMICO

### Tecnologías Basadas en LTE que Operan en Bandas de Frecuencia de Uso Libre

Los operadores del servicio de telefonía móvil celular se enfrentan a una escasez de recursos en sus redes debido a que el espectro que tienen concesionado para operar poco a poco se vuelve insuficiente para satisfacer el tráfico demandado por sus usuarios. Así las cosas, la industria se ha visto en la necesidad de explorar en aquellas bandas de frecuencia no concesionadas, principalmente en las bandas de 2.5 y 5 GHz, para poder descargar el tráfico de sus redes a través del desarrollo y estandarización de nuevas tecnologías basadas en LTE.

Como resultado se han desarrollado las siguientes tecnologías: LTE-Unlicensed (LTE-U) (Chen, Chen, Gao y Zhang, 2017; LTE-U Forum, 2017; NETMANIAS, 2017; QUALCOMM, 2017), Licensed Assited Access (LAA) (Chen, et al., 2017; Flore, 2016; Intel, 2016; Ismaiel, Abolhasan y Smith, 2017; Kwon, Jeon y Bhorkar, 2017; QUALCOMM, 2017), LTE-WiFi link Aggregation (LWA) (Intel, 2016; Ismaiel, et al., 2017; Malladi, 2016) y MulteFire (MULTEFIRE, 2016), las cuales se describen:

Tecnología	LTE-U	LAA	LWA	MulteFire
<b>Característica</b>				
<b>Organismo de estandarización</b>	Ninguno, pero fue diseñado por el LTE-U Forum	3GPP – 3rd Generation Partnership Project	3GPP – 3rd Generation Partnership Project	Ninguno, pero fue diseñado por la MulteFire Alliance
<b>Bandas de frecuencia de operación</b>	5 GHz	5 GHz	2.5 GHz 5 GHz 60 GHz	3.5 GHz 5 GHz
<b>Estándar</b>	Ninguno, pero fue diseñada con base en los Releases 10, 11 y 12 del 3GPP	Release 13 y Release 14	Release 13 y Release 14	Release 1.0
<b>Países en los que puede operar con base en su regulación actual</b>	China, Corea del Sur y Estados Unidos	Unión Europea y Japón	Todos	Unión Europea y Japón
<b>Mecanismos de coexistencia</b>	Selección de canal CSAT – <i>Carrier Sensing and Adaptive Transmission (Opportunistic Supplemental Downlink)</i>	LBT – <i>Listen Before to Talk</i>	LBT – <i>Listen Before to Talk</i> (opera igual que WiFi)	LBT – <i>Listen Before to Talk</i>
<b>Costo de implementación</b>	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

Tabla 1 - Comparación entre las tecnologías LTE que operan en bandas de frecuencia de uso libre.

## Tecnologías Emergentes Basadas en MIMO

*Multiple Input Multiple Output* (MIMO), es una tecnología para comunicaciones inalámbricas que utiliza múltiples antenas en los transmisores y receptores para incrementar la capacidad del canal de comunicación y permitir un uso más eficiente de los recursos espectrales. Esta tecnología aprovecha el

fenómeno de propagación de señales por multitrayectoria para que en el sistema de recepción se combinen las señales entrantes, incrementando así el nivel de potencia recibida. Actualmente, existen dos tipos de tecnologías emergentes basadas en MIMO:

- *Cooperative MIMO*: es una técnica cooperativa de nodos con antenas individuales pertenecientes a una misma red. En este caso, la agrupación de múltiples dispositivos en arreglos virtuales de antenas simula el funcionamiento de las antenas MIMO (Wang, Hong y Ge, 2010)
- *Massive MIMO*: es una tecnología emergente consistente en un arreglo de múltiples antenas (en el orden de cientos o miles) que permiten manipular las características del haz radiado. El objetivo principal de esta configuración es obtener los beneficios de MIMO pero a una escala más grande y eficiente en cuanto a cantidad de usuarios, infraestructura y optimización de recursos espectrales (Björnson, Larsson y Marzetta, 2016).

Aunque la tecnología *massive MIMO* todavía se encuentra en un estado inicial de desarrollo, existen diversos prototipos experimentales realizados en distintas partes del mundo, los cuales se describen en la Tabla 2 (National Instruments, 2017; Ricknäs, 2013; Shepard, Yu, Anand, Li, Marzetta, Yang y Zhong, 2012; Suzuki, Kendall y Anderson, 2012; University of Bristol, 2016; Vieira, Malkowsky y Nieman, 2014).

Prototipo	Banda de frecuencias [GHz]	No. de elementos en el arreglo de antenas	No. Máximo de usuarios	Tasa de transmisión [Gbps]
<b>LuMaMi</b> (Universidad de Lund)	1.2–6	100	10	3.2
<b>ARGOS</b> (Universidad Rice)	2.4	64	15	1.7
<b>Ngara</b> (CSIRO)	0.8	32	18	0.05
<b>Prototipo de Samsung</b>	1-28	64	---	1.056

**Tabla 2** - Pruebas experimentales de *Massive MIMO*

## Radio Cognitivo

El RC (UIT, 2009) es un sistema radioeléctrico con tecnología que permite:

- Obtener información del entorno (tanto técnica como regulatoria), patrones del uso del espectro y del estado interno del sistema.
- Ajustar de manera dinámica y autónoma los parámetros operacionales y protocolos de funcionamiento con base en la información obtenida del entorno.
- Aprender de los resultados obtenidos.

Los RC pueden operar tanto en espectro de uso concesionado como en espectro de uso libre. En la primera modalidad, la comunicación de los UE se realiza en los periodos de tiempo en el que el UT no se encuentra transmitiendo. En la segunda modalidad, se utilizan algoritmos de compartición espectral para coexistir con otras tecnologías de acceso oportunista, tales como la dispersión de la señal transmitida a lo largo de un gran ancho de banda (tecnologías de espectro disperso) o el establecimiento de límites de emisión de las señales transmitidas para mitigar la interferencia entre las tecnologías.

Actualmente, existen dos tipos de RC (Molisch, 2010):

- El radio completamente cognitivo: se encarga de adaptar todos los parámetros de transmisión de acuerdo a su entorno radioeléctrico, por ejemplo, el tipo de modulación, el método de acceso al medio, la codificación, el centro de la frecuencia de transmisión, ancho de banda y la duración de la transmisión. Esta clase de RC es de gran interés científico, pero en la actualidad su fabricación y comercialización no es viable debido a su complejidad y a su alto costo.
- El RC para detección espectral: es un sistema que únicamente adapta la frecuencia, el ancho de banda y la duración de la transmisión de acuerdo con su entorno radioeléctrico. Además, la fabricación y desarrollo de este RC es más fácil de desarrollar debido a los pocos parámetros técnicos que adapta.

La tecnología RC tiene diversas aplicaciones (Wang, Ghosh y Challapali, 2011) y se prevé que en el futuro se implementen en sistemas más complejos, como las redes *Smart Grid*, servicios de misión crítica, telefonía móvil y aplicaciones médicas.

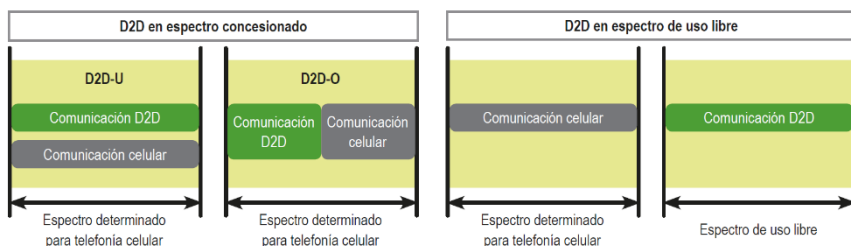


## Comunicaciones D2D

La comunicación D2D es un término aplicado a aquellas tecnologías que permiten la identificación e interacción directa entre dispositivos cercanos sin recurrir necesariamente a un punto de acceso o una estación base para establecer la comunicación inalámbrica entre estos. La comunicación D2D puede implementarse con distintos tipos de dispositivos, incluyendo teléfonos celulares, tabletas, computadoras portátiles y en general con todos aquellos dispositivos que soporten la conectividad mediante tecnología LTE (Kim, Park y Lee, 2015; Tehrani, Uysal y Yanikomeroglu, 2014) con funcionalidades pertenecientes al *Release 12* del 3GPP en adelante.

La comunicación D2D puede clasificarse dependiendo el tipo de espectro que utilice, ya sea espectro concesionado (Song, Niyato, Han y Hossain, 2015) o de uso libre (Mumtaz y Rodriguez, 2014), las cuales se describen a continuación y se ilustran en la Figura 2.

- D2D *Underlay* (D2D-U): se implementa cuando la comunicación D2D y los servicios de telefonía celular comparten los mismos recursos de espectro. Con D2D-U los usuarios no puede establecer simultáneamente las comunicaciones D2D y celular.
- D2D *Overlay* (D2D-O): en esta comunicación se destina una porción de los recursos espectrales para la operación de la red de telefonía celular y otra porción para el establecimiento de comunicaciones D2D.
- D2D en espectro de uso libre: es la comunicación D2D que opera en bandas de frecuencias de uso libre. Al utilizar estas bandas de frecuencias se requiere de una interfaz adicional en los dispositivos, o inclusive, que sea necesario adoptar otro tipo de tecnología inalámbrica (por ejemplo, Bluetooth, ZigBee o WiFi).



**Figura 2** - Comunicaciones D2D

## TV White Spaces

El término TWVS enfatiza aquellos segmentos del espectro “libres” pertenecientes al espectro destinado al servicio de televisión radiodifundida, los cuales no están siendo utilizados por un UT. Para la operación de la tecnología TVWS es necesario la utilización de bases de datos robustas, dinámicas e inteligentes, las cuales estén procesando información sobre los parámetros técnicos de los elementos de la red en tiempo real, y de RC capaces de analizar las señales de RF en un determinado segmento de espectro (Microsoft, 2016). Además, dependiendo en el espacio geográfico que se busque habilitar esta tecnología, las ANR deben tener un control y registro actualizado de los parámetros técnicos de las estaciones de TV (potencia de transmisión, alturas de antenas, etc.) y de su respectiva ubicación geográfica, así como información técnica de otro tipo de equipos habilitados dentro del segmento de espectro seleccionado para TVWS.

La tecnología TVWS es disruptiva ya que su operación necesita no sólo de un marco regulatorio flexible que le permita a los UT compartir su espectro dentro de su área autorizada, sino que además regulatoriamente se habilite la convergencia y coexistencia entre los servicios de banda ancha y de aquellos servicios previamente existentes en la banda.

Bajo este contexto, el primer país en implementar la tecnología TVWS fue Estados Unidos en 2008, bajo la coordinación de la *Federal Communications Commission* (FCC) (FCC, 2002; FCC, 2004) y posteriormente siguió Reino Unido en 2015, bajo la coordinación de la *Office of Communications* (Ofcom) (Ofcom, 2015; Ofcom, 2015; Ofcom; 2016). Gracias a que tanto la regulación como la tecnología fueron evolucionando a la par, en cada uno de estos países se desarrolló un estándar tecnológico bajo un régimen “flexible” que permitió a los reguladores “moldear” cada estándar acorde a sus necesidades y restricciones domésticas. En la Tabla 3 se contrastan las diferencias tanto técnicas como regulatorias de Reino Unido y de Estados Unidos para la implementación de TVWS.

Características	Reino Unido (Ofcom)	Estados Unidos (FCC)
<b>Rango de frecuencias</b>	470-790 MHz	608-614 MHz
<b>Instrumento Regulatorio que define la operación de los TVWS</b>	<i>ELECTRONIC COMMUNICATIONS The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015</i>	<i>ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS. Título 47, parte 15, subparte H.</i>
<b>Autorización</b>	Nacional	Nacional
<b>Tecnologías para el acceso oportunista al espectro</b>	Base de datos dinámicas	Técnicas de detección espectral ( <i>spectrum sensing</i> ). Bases de datos dinámicas.
<b>Estándar</b>	ETSI EN 301 598	IEEE 802.11af

		IEEE 802.22 IEEE 802.19
<b>Homologación de DWS</b>	No, toda vez que sigan el estándar y/o cumplan las características operativas contenidas en el instrumento regulatorio.	Sí
<b>Ancho de banda mínimo de canal</b>	8 MHz	6 MHz

**Tabla 3** - Comparación de las regulaciones de Ofcom y FCC respecto a la implementación de la tecnología TVWS

## RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO DINÁMICO Y USO COMPARTIDO

Para que el IFT habilite la introducción de las TADUCE, es necesario que observe las siguientes recomendaciones:

- Hacer un análisis del impacto regulatorio sobre la implementación de las TADUCE. Este análisis debe ser efectuado caso por caso y nunca el IFT deberá suponer que los resultados obtenidos del análisis para una determinada tecnología serán los mismos que todas las demás. Cabe señalar que las TADUCE impactan en el dominio del tiempo, espacio y frecuencia, por lo que el impacto regulatorio que se podría obtener sería totalmente diferente en todas las regiones del país.
- Desarrollar un sistema de regulación flexible que permita el desarrollo e implementación de las TADUCE. Al respecto, el IFT debe diseñar una regulación equilibrada, en la cual se permita la continua innovación tecnológica, la correcta operación de las TADUCE con otras tecnologías y que se garantice la compatibilidad electromagnética entre los usuarios del espectro. La experiencia internacional indica que para implementar las TADUCE es necesario contar con una regulación vanguardista, flexible, dinámica y que esté construida bajo procesos de consulta pública.
- Implementar la compartición de espectro a través de un documento legal que brinde certidumbre a los UT y los UE en el uso del espectro. Además, una vez que las TADUCE estén en funcionamiento y el IFT haya observado las consecuencias de la regulación, este instrumento regulatorio deberá ser lo suficientemente flexible para modificarse rápidamente, sin enfrentar tiempos burocráticos que retrasen el proceso de regulación. En este orden de ideas, la regulación debe habilitar el

funcionamiento de las nuevas tecnologías y no así que las tecnologías deban ser modificadas para adecuarse a la regulación.

- Dotar de certidumbre regulatoria la operación de las TADUCE a través del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Esto con la finalidad de habilitar la implementación de las TADUCE y para proteger a los servicios objeto de la compartición.
- Bajo un previo análisis, revisar y redefinir la regulación para ciertas bandas de frecuencia de uso libre (por ejemplo, la banda de 2.1 GHz o 5 GHz) más allá del establecimiento de parámetros técnicos de operación. Esto con la finalidad de que se permita a varias tecnologías acceder de forma equilibrada a dichas bandas, bajo reglas claras de compartición.
- Deberá buscar incentivos atractivos para todos los interesados (UT y UE) para que exista la compartición de espectro. Sin esto, los UT ni siquiera evaluarían la opción de compartir el espectro, ni mucho menos los UE buscarían espectro a través de la compartición.

Los incentivos para los UT comerciales podrían ser de carácter económico, por ejemplo, aquellos concesionarios que realicen la compartición de espectro con otros usuarios podrían gozar de una reducción en el pago de derechos por el uso del espectro. Otro incentivo sería que los UT reciban una contribución económica de aquellos usuarios interesados, con base en el área geográfica, la cantidad de espectro y el tiempo de uso.

No obstante, los UT pudieran tener incentivos no necesariamente económicos, por ejemplo, el IFT podría ayudarles a disminuir las cargas regulatorias y facilitarles el proceso administrativo con otras entidades involucradas para agilizar la compartición de espectro.

Por otro lado, los incentivos para los UE no necesariamente deberían estar evidenciados, ya que el incentivo de dichos usuarios es la existencia de la compartición.

- Establecer un trabajo multisectorial con la industria, la academia y otras entidades del gobierno mexicano (por ejemplo, instituciones de seguridad, de desarrollo digital o de comunicaciones) para que en conjunto trabajen en la investigación, desarrollo y mejora de las TADUCE.
- Identificar aquellos títulos habilitantes para hacer uso del espectro perteneciente a aquellas dependencias gubernamentales que estén haciendo un uso ineficiente del mismo. Lo anterior con la finalidad de diseñar y ejecutar un plan de acción que promueva la compartición del mismo o incluso, la recuperación del espectro para su replanificación y

uso más eficiente. Lo anterior debido a que a nivel internacional se ha identificado que los concesionarios de uso público suelen hacer un uso ineficiente del espectro, ya que cuentan con grandes cantidades de éste, muchas veces sin utilizar, y/o porque no tienen sus redes actualizadas, ya que dependen de un presupuesto otorgado por el erario público para realizarlo (Deloitte, 2014).

- En caso de adoptar por un cierto tipo de TADUCE, verificar que cuenten con un estándar que garantice la correcta operación de los equipos y no así con parámetros técnicos establecidos por grupos de la industria de forma aislada. El contar con un estándar no sólo brinda certeza a las ANR sobre la funcionalidad y comportamiento de la tecnología, sino que además las ANR promueven el desarrollo de economías de escala en las bandas de frecuencias en las que operan dichos estándares. Asimismo, con la implementación de un estándar (o estándares), los Organismos de Estandarización establecen los mecanismos de coexistencia para que la tecnología pueda convivir con otras sin interferencias perjudiciales. Lo anterior también contribuye a lo homologación de los equipos para su comercialización dentro del país.
- Garantizar en todo momento el principio de neutralidad tecnológica en cualquier banda de frecuencias que desee implementar las TADUCE. En este sentido, si los UE quisieran operar en una banda de frecuencias de forma dinámica y oportunista, lo podrían hacer a través de equipos elaborados por diferentes fabricantes. Con esto se eliminaría cualquier intento de “monopolizar” una banda de frecuencias con un sólo tipo de tecnología o fabricante de equipos.
- Deberá tomar en cuenta que debido a que las TADUCE son de reciente creación, hoy en día resultan ser costosas de implementar, y muchas de ellas no cuentan aún con dispositivos de usuario final o la disponibilidad de éstos es todavía limitada. Por lo anterior, si se habilita la compartición de espectro a través de alguna TADUCE, sin que ésta no esté aún lo suficientemente madura en el mercado, podría repercutir de manera negativa en los costos de inversión de los operadores, resultando un fracaso de implementación tecnológica.

## CONCLUSIÓN

Después de haber analizado y estudiado a las TADUCE, con seguridad es posible afirmar que dichas tecnologías son de naturaleza disruptiva y su existencia implica grandes retos para las ARN en habilitar su implementación. En lo que concierne a México, bajo el esquema actual de regulación establecida

en la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, así como en disposiciones técnicas y lineamientos vigentes emitidos por el IFT, actualmente no es posible implementar alguna de las TADUCE.

Sin embargo, en el ámbito de las atribuciones del IFT como órgano encargado del uso eficiente del espectro, así como en el desarrollo eficiente de las telecomunicaciones y la radiodifusión en el país, es factible que gradualmente pueda establecer mecanismos que permitan la introducción de las TADUCE en México siguiendo las recomendaciones anteriormente expuestas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BJÖRNSON, Emil; Larsson, Erick G. y Marzetta, Thomas L. (2016) Massive MIMO: Ten Myths and One Critical Question, *IEEE Communications Magazine*, 116.
- CHEN, Bolin; Chen, Jiming; Gao, Yuan y Zhang, Jie. (2017) Coexistence of LTE-LAA and Wi-Fi on 5 GHz With Corresponding Deployment Scenarios: A Survey, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 1, 10.
- CISCO. (2017) Forecasting the World's Digital Transformation, Estados Unidos, disponible en: [https://www.cisco.com/c/m/en\\_us/solutions/service-provider/vni-complete-forecast/infographic.html](https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-complete-forecast/infographic.html)
- CISCO. (2017) The Zettabyte Era: Trends and Anlysis, Estados Unidos, disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html>
- DELOITTE. (2014) The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum, Reino Unido, GSMA, 15, disponible en: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2014/02/The-Impacts-of-Licensed-Shared-Use-of-Spectrum.-Deloitte.-Feb-20142.pdf>
- FCC. (2002) NOTICE OF INQUIRY. In Matter of Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band, Estados Unidos, disponible en: [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-02-328A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-328A1.pdf)
- FCC. (2004) NOTICE OF PROPOSED RULE MAKING. In Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Estados Unidos, disponible en: [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-04-113A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-04-113A1.pdf)

- FLORE, Dino. (2016) LAA standardization: coexistence is the key, Third Generation Partnership Project, disponible en: [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1789-laa\\_update](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1789-laa_update)
- INTEL. (2016) Alternative LTE Solutions in Unlicensed Spectrum: Overview of LWA, Estados Unidos, LTE-LAA and Beyond, 13, disponible en: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/unlicensed-lte-paper.pdf>
- ISMAIEL, Bushra; ABOLHASAN, Mehran y SMITH, David. (2017) A Survey and Comparison Of Device-To-Device Architecture Using LTE unlicensed Band, 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Australia, 2.
- Kim, Taisiya; Park, Soo K. y Lee, Bong G. (2015) Korean Mobile Operators' Value Map for LTE D2D, *International Journal of Digital Information and Wireless Communications (IJDWC)*, Corea, 141-142.
- Kwon, Hwan-Joon; Jeon, Jeongho y Bhorkar, Abhijeet. (2017) Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum in LTE Release 13, *IEEE Communications Magazine*, 203.
- LTE-U Forum. (2017) LTE-U SDL Coexistence Specifications V1.3, 4, disponible en: [http://www.lteuforum.org/uploads/3/5/6/8/3568127/lte-u\\_forum\\_lte-u\\_sdl\\_coexistence\\_specifications\\_v1.3.pdf](http://www.lteuforum.org/uploads/3/5/6/8/3568127/lte-u_forum_lte-u_sdl_coexistence_specifications_v1.3.pdf)
- Malladi, Durga. (2016) Best use of unlicensed spectrum, Estados Unidos, Qualcomm Technologies, Inc., 6, disponible en: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/making-the-best-use-of-unlicensed-spectrum-presentation.pdf>
- Microsoft. (2016) A Rural Broadband Strategy. Connecting Rural America to New Opportunities, Estados Unidos, 16. Disponible en: <https://msblob.blob.core.windows.net/ncmedia/2017/07/Rural-Broadband-Strategy-Microsoft-Whitepaper-FINAL-7-10-17.pdf>
- Molisch, Andreas F. (2010) *Wireless Communications*, Reino Unido, John Wiley & Sons, 2a ed., 506.
- MULTEFIRE. (2016) MulteFire Release 1.0 Technical Paper. A New Way to Wireless, Estados Unidos, MulteFire Alliance, 3, disponible en: <https://www.multefire.org/specification/specification-release-1-0-1/download/>
- Mumtaz, Shahid y Rodriguez, Jonathan. (2014) *Smart Device to Smart Device Communication*, Suiza, Springer Science + Business Media, 5.

- National Instruments. (2017) 5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality, Estados Unidos, disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/52382/en/#toc4>
- NETMANIAS. (2017) Analysis of LTE – WiFi Aggregation Solutions, Corea, disponible en: <https://www.netmanias.com/en/post/reports/8532/laa-lte-lte-u-lwa-mptcp-wi-fi/analysis-of-lte-wifi-aggregation-solutions>
- Ofcom. (2015) Implementing TV White Spaces, Reino Unido, Office of Communications, disponible en: [https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0034/68668/tvws-statement.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0034/68668/tvws-statement.pdf)
- Ofcom. (2015) New Spectrum for Audio PMSE, Reino Unido, Office of Communications, disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/new-spectrum-audio-pmse>
- Ofcom. (2016) White Space Database Operators, Reino Unido, Office of Communications, disponible en: <https://tvws-databases.ofcom.org.uk/>
- QUALCOMM. (2017) Qualcomm Research. LTE in Unlicensed Spectrum: Harmonious Coexistence with Wi-Fi, Estados Unidos, 6, disponible en: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/lte-unlicensed-coexistence-whitepaper.pdf>
- RICKNÄS, Mikael (2013) Samsung takes first 5G steps with advanced antenna. But not everyone is convinced the underlying technology will work, Australia, PC World From IDG (News), disponible en: <https://www.pcworld.idg.com.au/article/461656/>
- SHEPARD, Clayton; YU, Hang; ANAND, Narendra; Li, Li E.; MARZETTA, Thomas; Yang, Richard y Zhong, Lin. (2012) Argos: Practical Many-Antenna Base Stations, *The 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Turquía, 9, disponible en: <http://argos.rice.edu/pubs/Shepard-MobiCom12.pdf>
- Song, Lingyang; Niyato, Dusit; Han, Zhu y Hossain, Ekram. (2015) *Wireless Device-to-Device Communications and Networks*, Reino Unido, Cambridge University Press, 1a ed., 6, 7.
- SUZUKI, Hajime; KENDALL, Rodney y ANDERSON, Kevin. (2012) Highly Spectrally Efficient Ngaru Rural Wireless Broadband Access Demonstrator, *International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 914.
- TEHRANI, Mohsen N.; UYSAL, Murat y YANIKOMEROGLU, Halim. (2014) Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions, *IEEE Communications Magazine*, 86.



- UIT-R. (2009) Informe UIT-R SM.2152. Definiciones de sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) y sistema radioeléctrico cognoscitivo (SRC), Suiza, Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (Serie SM, Gestión del Espectro), 2, disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf)
- UNIVERSITY OF BRISTOL. (2016) Bristol and Lund set a new world record in 5G wireless spectrum efficiency, Reino Unido, University of Bristol (News), disponible en: <http://www.bristol.ac.uk/news/2016/march/massive-mimo.html>
- VIEIRA, Joao; Malkowsky, Steffen y Nieman, Karl. (2014) A flexible 100-antenna testbed for Massive MIMO, *IEEE Globecom 2014 Workshop - Massive MIMO: From Theory to Practice*, Estados Unidos, 290.
- WANG, Cheng-Xian; Hong, Xuemin y Ge, Xiaohu. (2010) Cooperative MIMO Channel Models: A Survey, *IEEE Communications Magazine*, 81.
- WANG, Jianfeng; Ghosh, Monisha y Challapali, Kiran. (2011) Emerging Cognitive Radio Applications: A Survey, *IEEE Communications Magazine*, 74.

