

Instituto Federal de Telecomunicaciones



Compartición espectral como estrategia para contribuir en la solución de la mayor demanda de este insumo para servicios móviles terrestres.

Dic 2018

Los estudios, resultados y recomendaciones expresadas en el presente reporte no necesariamente reflejan el punto de vista del Instituto Federal de Telecomunicaciones, quedando a cargo del autor la responsabilidad de los mismos.

Compartición espectral como estrategia para contribuir en la solución de la mayor demanda de este insumo para servicios móviles terrestres

Cuevas-Ruíz, J.L.

Centro de Estudios

Instituto Federal de Telecomunicaciones, México

E-mail: jose.cuevas@ift.org.mx

Abstract —El espectro radioeléctrico es un recurso limitado, y una de las funciones primordiales de las entidades regulatorias es posibilitar su uso eficiente, en beneficio de la población. La escasez de este recurso ha llevado a buscar nuevas estrategias de gestión espectral que permitan hacer un uso más eficiente del espectro que ya se encuentra asignado. La alternativa del uso de técnicas de compartición espectral se presenta como una opción tecnológicamente viable para la obtención de una mayor cantidad de espectro disponible para los servicios móviles. En este documento se expone un análisis de un esquema de compartición de espectro para un sistema LTE usando TVWS, y otro sistema operando bajo el estándar 802.22, compartiendo la banda C, siguiendo los criterios recomendados por la ITU en la determinación de zonas de protección para los usuarios primarios.

Keywords — *Espectro, Compartición espectral.*

I. INTRODUCCION.

El crecimiento exponencial en el tráfico inalámbrico contribuye de manera definitiva a una mayor demanda de espectro para los servicios inalámbricos, principalmente las comunicaciones en banda ancha celular. Este incremento en la demanda espectral obedece a dar respuesta a varias problemáticas en los servicios de comunicación móviles; entre ellos podemos mencionar:

- a. Capacidades de las redes actuales (demanda de mayor velocidad).
- b. Cobertura (problemática que se presenta principalmente en zonas marginadas).
- c. Desarrollo de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés).
- d. Desarrollo de redes troncales inalámbricas, entre otras.

Como una alternativa para contribuir a la solución de esta demanda espectral, el uso de técnicas de compartición dinámica de espectro ha cobrado mayor relevancia. De manera general, la compartición de espectro se refiere al escenario donde dos o más sistemas de radio hacen uso de la misma banda de frecuencia [2]. La compartición de espectro ha existido desde hace varios años, principalmente basada en el uso de la misma frecuencia en diferentes zonas geográficas (por ejemplo en las redes de radio y televisión); sin embargo, la necesidad de hacer un uso más eficiente del espectro ha llevado a desarrollar esquemas de compartición en tiempo, lo que se define como estrategias de compartición de espectro dinámicas (DSA, por sus siglas en inglés). Una de estas tecnologías es la definida como Radio Cognitiva, enfocada principalmente en el uso de acceso sin licencia (uso secundario) por medio del sensado del espectro para lograr la detección de espacios sin usar en determinados instantes (definidos como espacios blancos); una vez detectados estos espacios blancos, el usuario secundario puede hacer uso del mismo

estableciendo parámetros de operación que garanticen la operación sin afectar la operación del usuario con licencia (usuario primario). Desde el punto de vista regulatorio, hasta el momento ningún ente regulador ha considerado este esquema para su implementación, no obstante son muchas las pruebas de campo y laboratorio que se siguen llevando a cabo, y esta es una posibilidad latente en un futuro a mediano plazo. El desarrollo, implementación y éxito de los esquemas de compartición dependerá de manera directa de que el mercado de servicios inalámbricos evolucione generando nuevas cadenas de valor, que se desarrollen nuevos incentivos en los mercados y se analicen los riesgos que esta compartición puede traer consigo.

Considerando las estrategias de compartición que por el momento mayor interés han tenido, desde el punto de vista regulatorio, la compartición de espectro en bandas donde existan usuarios primarios puede implementarse en presencia de alguna de las siguientes condiciones:

- Bandas de frecuencia no usadas en ciertos intervalos de tiempo.
- Bandas de frecuencia no usadas en determinadas zonas geográficas.

De manera tradicional, la asignación de espectro ha seguido dos tipos de estrategias:

1. Asignación de banda para su uso con licencias.
2. Bandas de acceso libre.

El avance tecnológico permite la implementación de modelos de asignación mixtos, que permitirán compartir el espectro cumpliendo con condiciones técnicas específicas. Entre otras podemos mencionar el Acceso Compartido con Licencia (LSA, por sus siglas en inglés) y el Acceso Oportunista al Espectro (OSA, por sus siglas en inglés). Así mismo, el uso de bases de datos geo-localizadas, donde el potencial usuario secundario pueda verificar las bandas de frecuencia sin usar en la posición geográfica que se encuentra, es otra alternativa de compartición que permitirá el uso de bandas de frecuencia en determinadas zonas geográficas. Es claro que una regulación detallada y específica para cada caso será clave en la implementación de estas estrategias.

No son pocos los especialistas que muestran escepticismo respecto a los resultados que la implementación de este tipo de estrategias traería consigo; por un lado se ve como favorable que un operador pueda acceder a una mayor cantidad de espectro para ofertar más servicios, pero se recomienda mantener el modelo de operación bajo licenciamiento como medio principal de asignación de espectro. Aspectos regulatorios, como normas para evitar que un operador acapare el espectro secundario o la definición y garantía en la eliminación de interferencia perjudicial a los usuarios primarios, son vitales para el éxito de estos modelos de compartición.

II. COMPARTICIÓN DE ESPECTRO. MODELOS.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, sección Radiocomunicaciones (ITU-R), ha desarrollado lineamientos generales para la compartición de espectro haciendo uso de tecnologías basadas en Radio Cognitivo [4][5]. De acuerdo con la ITU-R, un sistema de Radio Cognitivo puede definirse como *un sistema de radio que hace uso de tecnología que permite al sistema obtener conocimiento de su operación y las condiciones del ambiente, de las políticas de operación establecidas y de su estado interno; de este modo, de manera dinámica y autónoma puede ajustar sus parámetros y protocolos de operación acorde a la información obtenida, de manera que se logren los objetivos predefinidos; así mismo, el sistema es capaz de aprender de los resultados obtenidos*. De manera general se puede establecer que un sistema operando con Radio Cognitiva es capaz de:

- a) Obtener conocimiento e información del medio donde opera.

- b) Tomar decisiones y hacer ajustes a su operación.
- c) Aprender de los resultados obtenidos.

De acuerdo con GSMA la compartición de espectro puede definirse como el uso colectivo de una porción o banda del espectro electromagnético por dos o más usuarios. Desde el punto de vista regulatorio, esta compartición puede ser licenciada o no. Fig. No. 1. [GSMA, (2017)].



Fig. No.1 Tipo de compartición de espectro. [Tomado de GSMA (2017)]

La implementación del concepto LSA puede explotar tecnología cognitiva permitiendo la compartición de espectro de una manera más dinámica en frecuencia, tiempo y lugar. En la Unión Europea definen, adicional al concepto de LSA mencionado, una estrategia conocida como Uso Colectivo del Espectro (CUS, por sus siglas en inglés), similar a la compartición exenta de licencia. El CUS se define como: Uso colectivo del Espectro permitiendo un número ilimitado de usuarios y/o dispositivos independientes para acceder al espectro en el mismo rango de frecuencias, al mismo tiempo en un punto geográfico específico, bajo ciertas condiciones de operación predeterminadas [6]. Esta alternativa incluye la posibilidad de implementar el uso de los Espacios Blancos en la TV (TVWS) [7].

En el caso de los EEUU se define un sistema similar al LSA, denominado Sistema de Acceso al Espectro (SAS), que establece tres niveles de uso del espectro: el usuario primario o incumbente es el que posee la licencia para operar, el secundario (que también debe contar con cierto tipo de licencia, pero sin las mismas condiciones que el primario) y un usuario de tercer nivel, que aunque también debe tener ciertas autorizaciones, las condiciones de servicio son inferiores a las del usuario secundario (similar al usuario de Wi-Fi). Aunque similares, los modelos de compartición de espectro pueden presentar algunas diferencias en su implementación y operación, así como el papel que el regulador pudiera desempeñar [6].

El uso de bases de datos geolocalizadas para la gestión espectral en el caso de los TVWS ha sido regulada en los EEUU y Europa. En ambos casos se han definido protocolos para posibilitar la interoperabilidad entre los WSD (dispositivos para espacios blancos) y las bases de datos geolocalizadas. Este esquema se basa en habilitar geográficamente la compartición de espectro entre dos posibles usuarios; uno de ellos es el primario (la estación de TV) que posee los derechos y privilegios para garantizar la calidad de los servicios que provee, mientras que al usuario secundario se le permite hacer uso del espectro solo en áreas específicas donde la cobertura del canal de TV no existe.

III. Compartición de Espectro. TVWS y Banda C en México.

En el plan de desarrollo implementado hasta el 2018 en México, se estableció como uno de los objetivos incrementar la disponibilidad de espectro fomentando mayor competencia, cobertura, pluralidad e inclusión, conectividad y accesibilidad a servicios de telecomunicaciones y radiodifusión. En este marco, el Instituto Federal de Telecomunicaciones, IFT, llevó a cabo diferentes acciones encaminadas a contribuir al logro del objetivo mencionado. Entre estas esta la asignación de 90 MHz de la banda de 700 MHz al Organismo Promotor de Inversiones en Telecomunicaciones (PROMTEL); también se clasificó a la banda de 57-64 GHz como banda de uso libre, especificando las condiciones técnicas de operación correspondientes. Así mismo, se incluyeron las bandas de frecuencias 415-420/425-430 MHz y 806-816/851-859 MHz para la operación de sistemas públicos.

No obstante las estrategias mencionadas, México (como el resto de los países de Latinoamérica) se encuentran lejos de las necesidades futuras pronosticadas por la ITU. Se estima que la escasez y costo del espectro radio-eléctrico siguen siendo uno de los factores que frenan el acceso a servicios móviles (telefonía, internet, IoT) en el país. Dentro del mismo plan de Nacional de Desarrollo, se estableció como otro de los objetivos fomentar el incremento de la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico, haciendo hincapié en la importancia de llevar a cabo acciones y estrategias que conduzcan a una gestión y administración eficiente del espectro. Dentro de las estrategias mencionadas para el logro del objetivo mencionado, se estableció el análisis de alternativas para la compartición de espectro y uso dinámico del mismo. El uso dinámico del espectro, como ya se mencionó, es una opción tecnológica para el mercado que hoy en día se encuentra aún en desarrollo; dentro de las estrategias que más viabilidad presentan esta la compartición geográfica del espectro, es decir, hacer uso de las frecuencias licenciadas en lugares donde estas no estén siendo usadas. Este documento aborda esta opción para el caso de las frecuencias de la TDT y la banda C.

Los operadores de telefonía móvil llevan a cabo grandes inversiones para satisfacer la creciente demanda de servicios por parte de los consumidores; uno de los retos más importantes es el de optimizar el ancho de banda disponible, por medio de técnicas que permitan incrementar las velocidades de transmisión en horas de alta demanda en zonas urbanas por un lado, y por otro, lograr por fin proporcionar la cobertura que en zonas rurales no se ha concretado aún. La compartición de espectro puede ser una herramienta útil en la consecución de este objetivo.

Agregación de Portadora para LTE. (LTE CA).

Un sistema de telefonía celular LTE (*Long Term Evolution*) que pueda acceder a espectro adicional por medio de esquemas de compartición de espectro esta en condiciones de ofrecer velocidades de transmisión más altas. Para lograrlo, una de las alternativas tecnológicas probadas para ser implementadas haciendo uso de espectro adicional es la que se conoce como Agregación de Portadora (CA, por sus siglas en ingles). La CA es una técnica que permite la distribución de un flujo de datos en varios canales de radio celulares, logrando así elevadas tasas de transmisión [8]. Es una tecnología que permite una expansión del ancho de banda efectivo para el enlace a un determinado equipo terminal móvil por medio de la utilización de recursos radio a través de múltiples portadoras. La CA permite que la interfaz radio de los sistemas LTE puedan ser reconfigurados colocando varias portadoras adicionales con diferentes anchos de banda. La velocidad con la que el sistema LTE pudiera operar dependerá de las características y capacidades técnicas del mismo sistema, como se muestra en la Tabla No. 1; el uso de tecnologías MIMO (*multiple input, multiple output*) y de esquemas de modulación de alto nivel como 16 o 64 QAM, entre otras, definen esta velocidad de operación.

Release	MIMO	Ancho de Banda (MHz)	Velocidad de Transmisión Mbps
5	NO	5	14
7	2x2	5	28
8	NO	10	42
9	2x2	10	84
10	2x2	20	168
11	2x2,4x4	40	336-672

*Tabla No. 1 Velocidades de bajada para LTE con CA.
(Elaboración propia con datos de [8])*

TVWS en México. Uso de TVWS en sistemas LTE para CA y 802.2.

Para el caso de México, una de las oportunidades que se presentan para la obtención de espectro adicional que pudieran impulsar la implementación de esquemas de compartición de espectro es el uso de los espacios blancos de TV (TVWS); su uso, como un recurso para incrementar la penetración y el acceso a servicios móviles ha sido abordado y en países como Colombia ya existe una regulación vigente. En el presente análisis, se hace referencia a los TVWS como un insumo muy útil para resolver el problema de brindar cobertura y servicios de banda ancha a zonas rurales, y para el caso urbano, se plantea como un medio para incrementar las tasas de transmisión. En [9] se exponen las condiciones bajo las cuales un sistema LTE puede operar haciendo uso de CA por medio de los TVWS; en este se establece que la mejor alternativa es el uso de bases de datos geo-referenciadas, donde se almacenan las frecuencias de la TDT (televisión digital terrestre) que son identificadas como TVWS en la zona geográfica del posible usuario. Para la operación de este sistema, el equipo del usuario final operando con LTE debe estar definido como un equipo Modo 1 y la estación base (eNodeB) actúa como un dispositivo fijo y lo comunica con la base de datos geo-referenciada cada 24 horas (Recomendación de la FCC). Bajo esta configuración, la capa física del sistema LTE deberá ser flexible para adaptarse a las diferentes condiciones de operación y cambiar de frecuencia de comunicación sin pérdida de información. Esta flexibilidad también requerirá de ajustes dinámicos de ancho de banda, modulación y codificación. Flexibilidad similar deberán presentar las capas de Control de Acceso al Medio ((MAC), la de Control de Recursos Radio (RRC), así como la de Gestión de Recursos Radio (RRM). No obstante que hay regulaciones en marcha y estudios que muestran la factibilidad de esta implementación, aún hay varios temas que resolver respecto a la complejidad de los equipos y de la operación del sistema en general. Sin embargo, el uso de los TVWS como CA se presenta como una alternativa muy viable.

Como se mencionó, para el caso de México, el problema puede analizarse en dos escenarios posibles: uno es la zona rural donde el problema principal es la cobertura, y el otro escenario son las zonas suburbanas y urbanas, donde el reto estaría más enfocado en incrementar las velocidades de transmisión. Inicialmente, se debe partir de la identificación de la cantidad de TVWS disponible. Para el caso de México, en [7] se presenta una cuantificación del ancho de banda disponible como TVWS para los estados de la república Mexicana (Figura No.2).

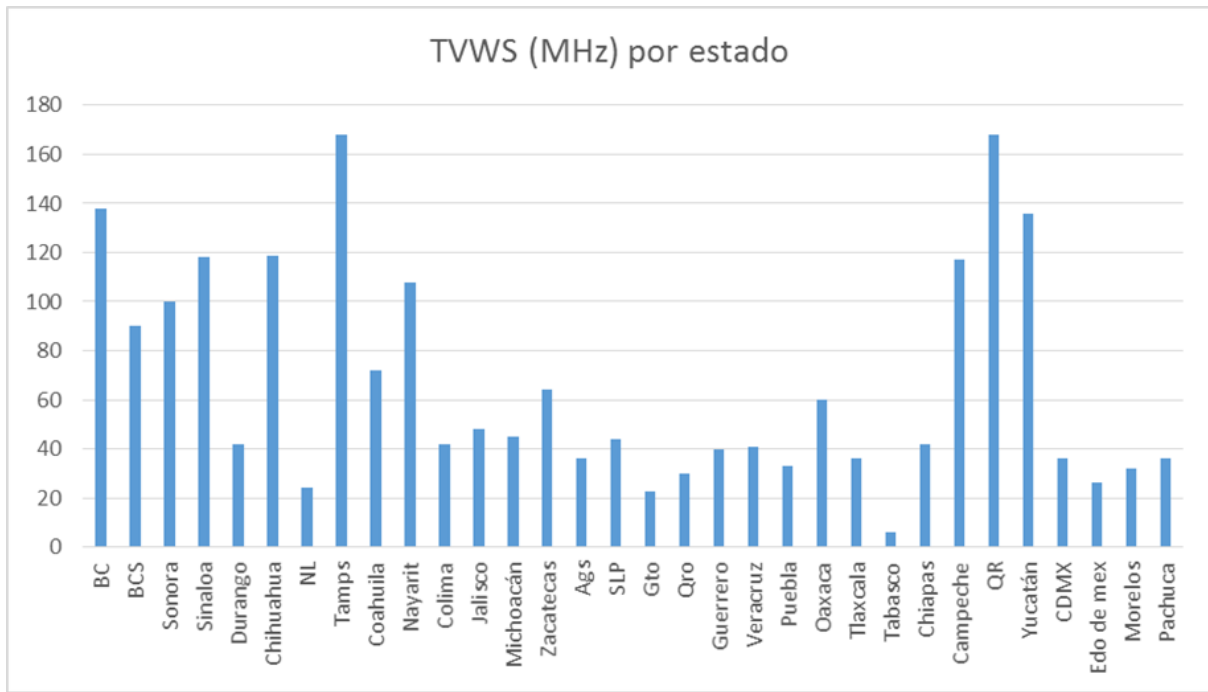


Figura No. 2 TVWS para los estados en México.

El esquema de compartición de espectro haciendo uso de TVWS se basa en la determinación de un área de protección del transmisor del usuario primario (en este caso el transmisor de la TDT) que transmite haciendo uso de una frecuencia F; dentro de esta área de protección, esta frecuencia F se identificará como frecuencia ocupada; fuera del área anteriormente definida, esta frecuencia F se declarará como un espacio libre, y por ende identificado como un canal TVWS donde un enlace de comunicaciones pudiera implementarse.

Para el caso rural, en la Tabla No. 2 se muestran los estados que presentan los porcentajes más bajos de acceso a internet dentro de la población rural, así como la cantidad de ancho de banda disponible en TVWS; casos como el de Guerrero o Chiapas son de llamar la atención. Uno de los mayores retos respecto a la cobertura de servicios móviles que presentan estas poblaciones es la enorme cantidad de pequeñas poblaciones rurales con niveles de población muy bajo. En la Figura No. 3 se muestra el caso de Chiapas. Esto dificulta brindar cobertura de servicios inalámbricos con los modelos de negocio tradicionales.

Considerando que cada canal de TVWS ofrece 6 MHz de ancho de banda, se obtuvo la tasa de transmisión posible para un hipotético enlace inalámbrico operando bajo el estándar de la ITU-802.22, considerando una antena de 10 m y una potencia isotrópica efectiva radiada (EIRP) de 40 mW. Estados como Quintana Roo y Tamaulipas presentan anchos de banda disponibles como TVWS de más de 160 MHz, lo que permitiría que las tasas posibles fueran mayores. Los resultados se muestran en la Tabla No. 3 para diferentes radios de cobertura.

Porcentaje de la población con acceso a internet			TVWS (MHz) promedio
Estado	Urbana	Rural	
Guerrero	63%	27%	40
Chiapas	51%	24%	41
Veracruz	66%	33%	40
Oaxaca	60%	36%	38
Chihuahua	76%	37%	120
Tamaulipas	74%	38%	164
Quintana Roo	82%	46%	164

Tabla No. 2. TVWS disponible para estados con bajos índices de acceso a Internet.

Chiapas

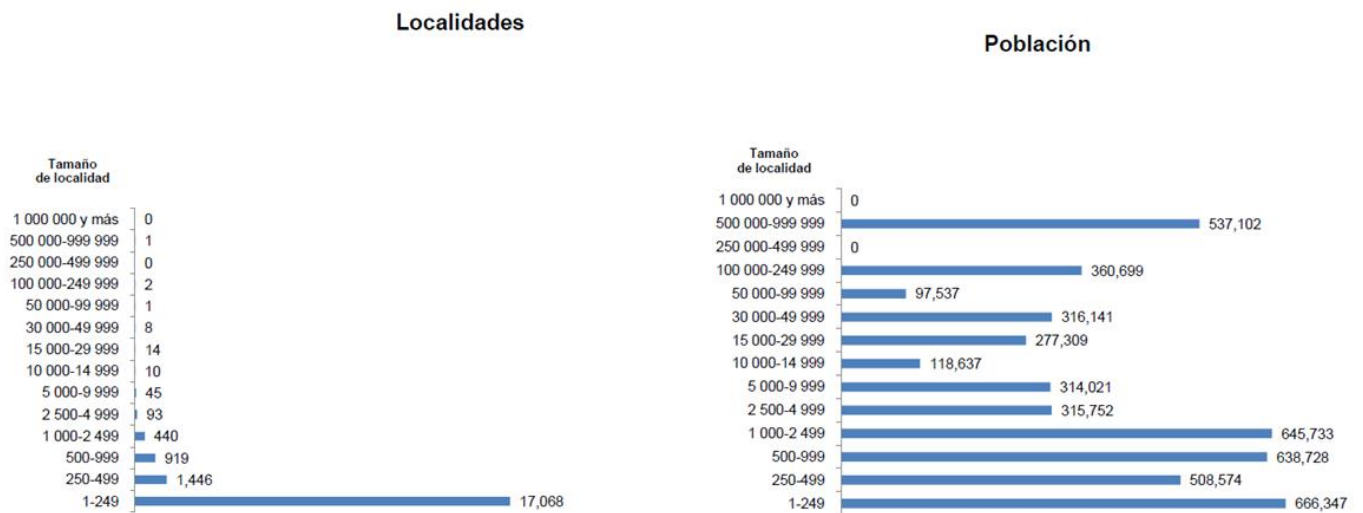


Figura No. 3 Distribución de poblaciones en Chiapas

Path Loss (dB)	Cobertura (km)	DL (Mbps)
120	2	23.32
125	2.6	20.08
130	3.2	16.85
135	4	13.63
140	5.2	10.43
145	6.5	7.34
150	8.3	4.52
155	10.3	2.3

Tabla No. 3 Velocidades de transmisión para un canal de TVWS.

En un escenario urbano, donde la cobertura es un tema resuelto casi al 100%, el objetivo principal puede identificarse como proporcionar una mayor velocidad de conexión en los sistemas de banda ancha móvil, una estrategia de agregación de portadora para los sistemas móviles existentes puede ser una alternativa exitosa. Tomando una muestra de 9 ciudades urbanas a lo largo del país, se comparó la velocidad reportada

por Opensignal [13] para una red de 4G y las velocidades teóricas adicionales que podrían alcanzarse con un esquema de CA, haciendo uso del ancho de banda disponible por medio de los TVWS. Estos valores se muestran en la Tabla No. 4 para las 9 ciudades mencionadas; del mismo modo, se indica la cantidad de ancho de banda disponible por medio de los TVWS, señalando la cantidad de espectro continuo que ofrecen; esta cantidad es la que se utiliza para obtener la velocidad adicional que se puede alcanzar, de acuerdo con [8]. Así mismo se indica que con el uso de tecnologías antenas MIMO estas velocidades pueden incrementarse.

Ciudad	Data rate 4G Mbps	2CC CA. TVWS		
		BW (MHz)	MIMO	Data Rate
Ags.	21.55	36 (10 continuos)	no 2x2	42 Mbps 84 Mbps
Juárez	32	120 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
Cd. México	26.3	24 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
Mty	26.58	36 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
Puebla	22.88	30 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
Qro	27.49	30 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
SLP	25.8	60 (10 continuos)	no 2x2	42 Mbps 84 Mbps
Tijuana	26.27	102 (20 continuos)	2x2	168 Mbps
Toluca	25.41	24 (20 continuos)	2x2	168 Mbps

Tabla No. 4. Velocidades posibles haciendo de CA usando el ancho de banda de los TVWS disponibles.

Banda C y el sistema IMT 2000.

La banda C es utilizada básicamente para servicios satelitales fijos (FSS); el canal de bajada de la banda C esta dividido en dos partes, la que se define como Banda C estándar de 3.7 a 4.2 GHz y la que se conoce como banda C extendida que va de los 3.4 a los 3.7 GHz.

La compartición de esta banda, con el objeto de usarla para servicios de IMT es una discusión que se ha dado desde hace tiempo. Por un lado, los operadores de servicios móviles terrestres presentan análisis y condiciones de la viabilidad de esta compartición y por el otro los operadores satelitales justificando su negativa, principalmente por los niveles de interferencia que las estaciones terrenas pudieran sufrir, degradando con esto la calidad de los servicios que se ofertan. Debido a las grandes distancias que debe recorrer la señal en un enlace satelital para alcanzar su objetivo en tierra, la señal que alcanza a estas estaciones terrenas presentan una muy baja potencia, por lo que los receptores deben ser diseñados con una alta sensibilidad; esta característica es la que los hace altamente sensibles a las interferencias de los servicios móviles terrestres que operan básicamente haciendo uso de transmisiones omnidireccionales.

Para la coordinación y compartición del espectro de ambos servicios, la Recomendación R-1448 de la ITU describe las condiciones para que una estación terrena satelital que transmite y recibe, pueda compartir el espectro con los servicios terrestres (de 100 MHz a 205 GHz) [10]. Básicamente lo que se establece en esta Recomendación es la determinación de un área alrededor de la estación terrena dentro de la cual deberán de analizarse y cumplirse determinados niveles de interferencia para garantizar la correcta operación de ambos sistemas.

El análisis de compatibilidad se lleva a cabo considerando las características de operación de los sistemas, como la ganancia de la estación satelital terrena (G) y la potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE),

de las estaciones base de los servicios móviles terrestres. Uno de los parámetros más importantes definidos por la ITU es el criterio de protección para las estaciones satelitales terrestres; la razón interferencia a ruido (I/N) de largo término definido por la ITU (R-S.1432) es de -12.2 dB para el 20% del tiempo. Para el corto plazo, la razón I/N deberá ser de -1.3 dB para el 0.005% del tiempo [12].

Para la estimación llevada a cabo en este estudio, se consideraron los resultados obtenidos en [12], donde se analiza la compatibilidad entre un sistema satelital operando en la Banda C y un sistema móvil terrestre operando bajo el estándar IMT 2000. En este mismo documento se definen los parámetros de operación de cada uno de los sistemas.

Considerando lo anterior, en [12] se establecen las zonas de exclusión alrededor de una estación satelital terrena, donde la operación de un sistema móvil terrestre no podrá implementarse. Las distancias mínimas a cumplir entre una estación satelital terrestre y una estación base para cada uno de los criterios definidos, se muestran en la Tabla No.5.

Criterio de Protección para la FSS (I/N, dB)	Aislamiento requerido (dB)	Distancia mínima de separación (km)	
		(largo plazo: 20%, asumiendo propagación en modo de difracción)	Corto plazo: 0,005%, asumiendo propagación en modo de difracción)
-1.3	165.9		140
-12.2	176.8	55	
-15.5	179.8	70	

*Tabla No. 5. Distancias mínimas de protección.
(Elaboración propia con datos tomados de [12]).*

Compartición de la banda C en México.

Para el caso de México, de acuerdo a lo mencionado preliminarmente, se procedió a estimar la cantidad de localidades que pudieran potencialmente hacer uso de la banda C, bajo el esquema de compartición geográfica (usar la banda donde esta no esta siendo ocupada). Para ello se consideraron las estaciones terrenas satelitales que operan en la banda C, alrededor de las cuales se estableció una zona de protección haciendo uso de las distancia recomendadas y mostradas en la Tabla No. 5. Basado en esta distancia se estimó un perímetro de protección dentro del cual no es viable la compartición de la banda, ya que no se cumplirían las condiciones de interferencia requeridos. Como ejemplo, en las Figuras 5 y 6 se muestran los mapas de los estados de Jalisco y Chiapas, indicando la localización de las estaciones terrenas para la banda C en estos estados, así como el área de protección estimada; el radio de protección que se brinda alrededor de cada una de las estaciones terrenas mostradas es de aproximadamente 55 km. Para el caso de Chiapas, aproximadamente el 25% del territorio es viable para implementar un reuso de la banda C, aunque apenas representa el 3.4 % de toda la población.

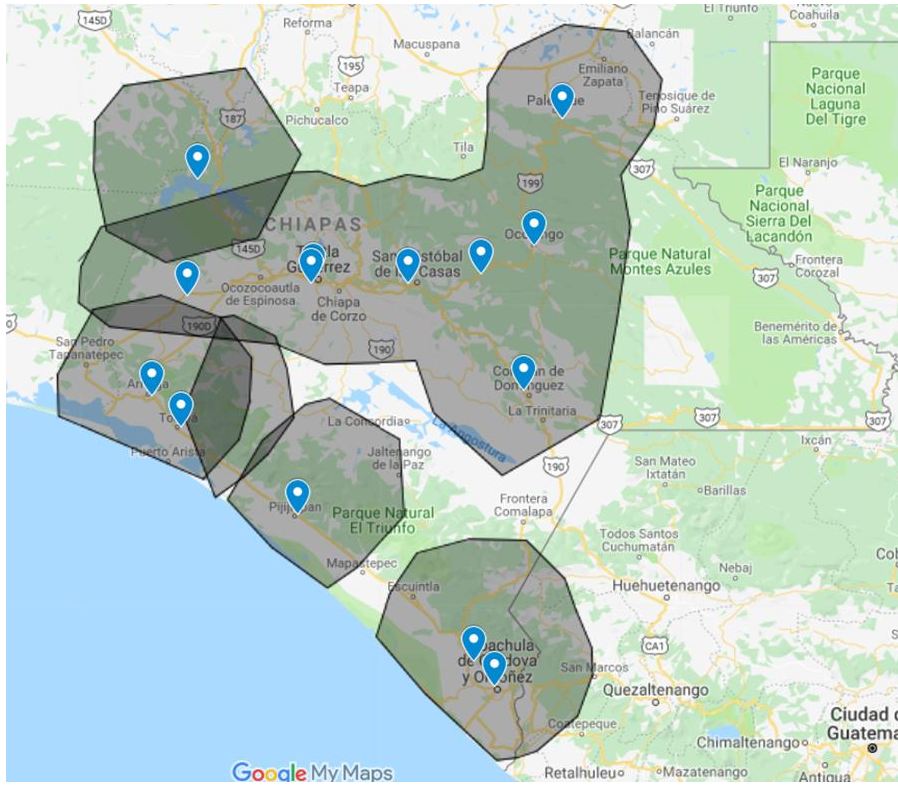


Figura 5. Estaciones satelitales terrenas consideradas. Estado de Chiapas.

Para cada uno de los estados mostrados se llevó a cabo una evaluación con las localidades mayores a 5000 habitantes, evaluando el porcentaje de poblaciones que potencialmente podrían hacer uso en un esquema compartido de la banda C. Esta evaluación se llevó a cabo considerando las tres distancias de protección recomendadas en [12] y mostradas en la Tabla No. 5: 55, 70 y 140 km.

En el caso del estado de Jalisco, se consideraron alrededor de 100 localidades con una población arriba de los 5000 habitantes. Los resultados se muestran en la Tabla y Figura No. 6. para cada una de las distancias mencionadas. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis dividiendo las citadas poblaciones en subgrupos, con base al número de habitantes por población. Estos subgrupos quedaron de la siguiente manera: poblaciones entre 5 y 50 mil habitantes, entre 5 y 20 mil y un último subgrupo para poblaciones entre 5 y 10 mil habitantes. De acuerdo con los resultados mostrados, las ciudades con altos índices poblacionales (zonas urbanas) presentan menos probabilidad de cumplir con las condiciones para un esquema de compartición de espectro en la banda C como el que se plantea. Por otro lado, es notorio que en el caso de poblaciones entre 20 y 5 mil habitantes (mayormente suburbanas), poco más de un tercio de estas poblaciones podría hacer uso de este esquema. Del mismo modo, casi el 30% de las poblaciones rurales podrían ser candidatas para la implementación en la compartición de la banda C, considerando el escenario más flexible (distancia de 55 km).

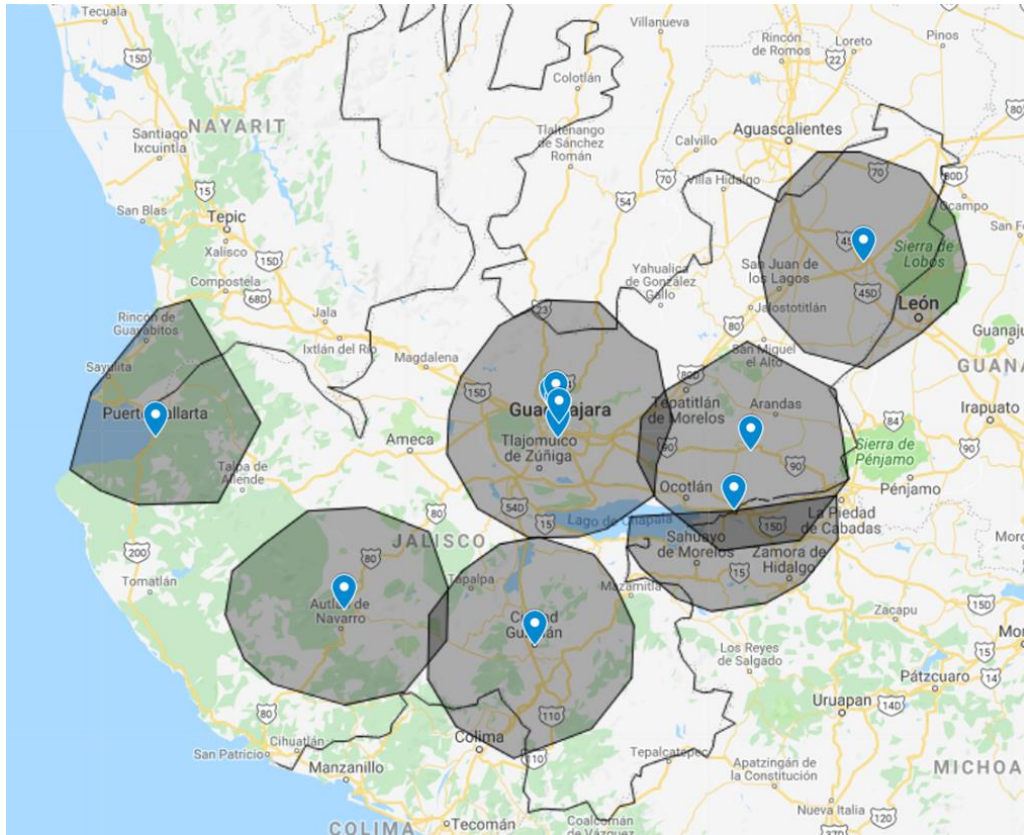


Figura No. 6 Estaciones satelitales terrenas consideradas. Estado de Jalisco

Poblaciones	Distancia mínima de protección (km)		
	55km	70km	140km
>5000 hab	6.78%	2.40%	0.77%
50000-5000 hab	23.90%	11.25%	3.50%
20000-5000 hab	35.35%	20.73%	4.08%
10000-5000 hab	29.06%	14.85%	4.84%

Tabla No. 6. Porcentaje de poblaciones potenciales como usuarios secundarios para banda C. Jalisco.

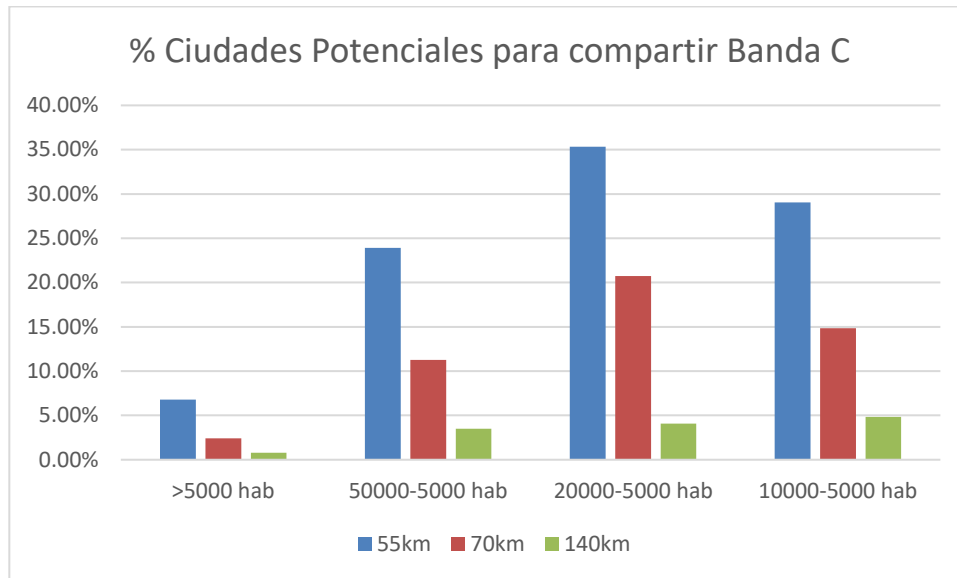


Figura No. 7. Porcentaje de poblaciones potenciales como usuarios secundarios para banda C. Chiapas.

Para el caso del Estado de Chiapas se llevó a aplicó el mismo procedimiento, consideran poco más de 100 localidades con poblaciones mayores a 5 mil habitantes. Los resultados mostrados en la Figura y Tabla No.8 se muestra un comportamiento ligeramente diferente para el caso del estado de Jalisco; En este caso se mantiene la tendencia que a medida que se consideran poblaciones con menor número de habitantes (urbanas pequeñas y suburbanas) el porcentaje de localidades que pudieran fungir como usuarios secundarios para el esquema mostrado es mayor. Se puede ver que para el caso de poblaciones entre 10 y 5 mil habitantes, casi el 40 % de estas podrían incluirse.

Poblaciones	Distancia mínima de protección (km)		
	55km	70km	140km
>5000 hab	22.22%	11.11%	1.85%
50000-5000 hab	25.88%	12.94%	2.35%
20000-5000 hab	30.95%	16.66%	4.76%
10000-5000 hab	38.09%	19.04%	4.76%

Tabla No. 8. Porcentaje de poblaciones potenciales como usuarios secundarios para banda C. Chiapas

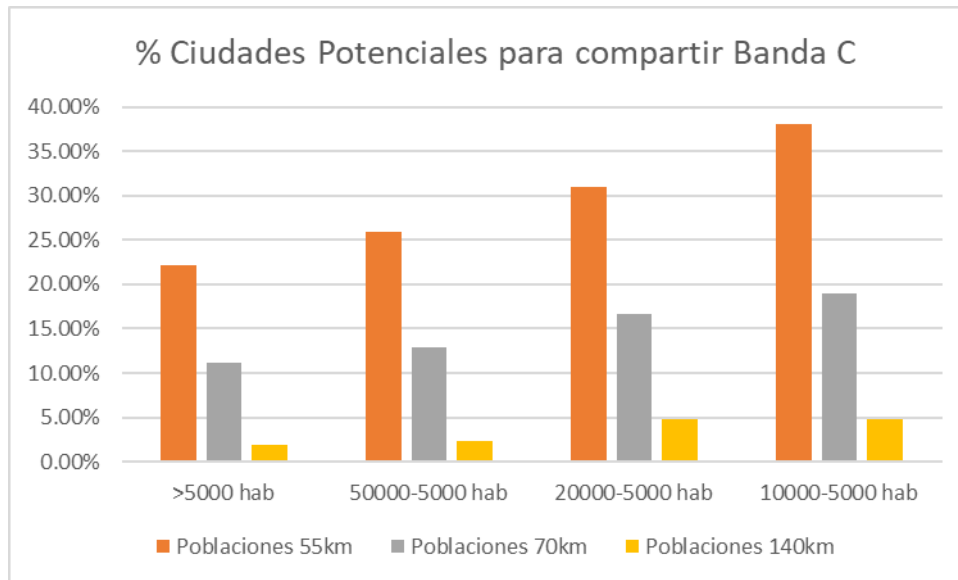


Figura No. 8. Porcentaje de poblaciones potenciales como usuarios secundarios para banda C. Chiapas.

IV. OPORTUNIDADES Y RIEGOS.

La compartición de espectro es una estrategia que puede ofrecer grandes beneficios para la población, al incrementar la eficiencia en el uso de un insumo que puede presentarse como muy valioso. Al mismo tiempo puede otorgar beneficios a los operadores, por medio de acuerdos y convenios que permitan una relación ganar-ganar entre operadores de espectro secundario y los incumbentes. Las oportunidades para la implementación de esquemas de compartición de espectro deben definirse caso por caso, tomando en cuenta variables como escenarios, tipo de servicios a proporcionar, frecuencias de operación, condición del mercado, etc.; las múltiples variables involucradas necesitan términos específicos para cada oportunidad. Definitivamente no son viables reglas o normas que generales que pretendan regular todos los casos.

El esquema de compartición presentado, que se basa hacer uso de frecuencias en localizaciones geográficas donde las frecuencias con licencia se encuentran sin uso, parece ser el esquema de compartición que más viabilidad presenta; los resultados presentados para un sistema LTE y la banda C son muestra de esto. La cantidad de espectro disponible y las velocidades teóricas que pudieran lograr en esquemas con CA haciendo uso de TVWS para los sistemas LTE son notables. En el caso de la banda C, no se pretende que los resultados aquí presentados sean concluyentes ni mucho menos, sin embargo, consideramos que los beneficios que la compartición espectral en esta banda pudiera lograrse justificaría su estudio a mayor profundidad.

Uno de los factores importantes a considerar para analizar la viabilidad de la implementación de esquemas de compartición espectral es la eficiencia en el uso del mismo; al respecto de esto, en la mayoría de las fuentes consultadas sobre campañas de mediciones de campo, ofrecen enormes oportunidades, ya que en su gran mayoría los tiempos promedio de ocupación son muy bajos.

Bibliografía

- [1] Compartición de espectro: Impacto y Oportunidades para el Futuro. GSMA. Septiembre 2017.
- [2] ITU-R, "Working Document Towards a Preliminary Draft New Report on Cognitive radio systems (CRS) applications in the land mobile service", ITU-R document 5A/306 Annex 26, June 2013.

- [3] J. M. Chapin, and W. H. Lehr, “Cognitive radios for dynamic spectrum access – The path to market success for dynamic spectrum access technology,” IEEE Commun. Mag., vol. 45, no. 5, May 2007, pp. 96-103.
- [4] ITU-R, “Cognitive radio systems in the mobile service”, ITU-R Question 241-2/5, 2007.
- [5] ITU-R, “Studies on the implementation and use of cognitive radio systems”, ITU-R Resolution 58, 2012.
- [6] RSPG, “Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and other spectrum sharing approaches”, RSPG11-392, European Commission, Radio Spectrum Policy Group, Nov. 2011.
- [7] Cuevas-Ruíz, J.L.Espacios Blancos de la TV para zonas Rurales. CPR LATAM Conference, Cartagena Colombia, Mayo 2017.
- [8] Fetov O, Nikolov L.G. Kulev N, et al, “Cellular Radio Channel Carrier Aggregation Motivation and Benefits Overview”.
- [9] Purnima Surampudi, Lead Engineer and Sony Mohanty. LTE-Advanced in White Space—A Complementary Technology.
- [10] ITU-R. REC-SM.1448
- [11] International Telecommunicatio Union, World Regional Conference, “Methods For The Determination Of The Coordination Area Around An Earth Station In The Frequency Bands Between 100 MHz And 105 GHz”, Appendix 7 (Rev. WRC-03), 2003
- [12] Spectrum Sharing Studies In C Band Between IMT2000 (WIMAX) & Satellite Networks. Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference 15-17 Dec 2009. Kuala Lumpur Malaysia.
- [13] <https://opensignal.com/reports/2018/11/mexico/state-of-the-mobile-network>