

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES



Análisis de soluciones tecnológicas que utilicen el uso compartido de espectro y propuestas técnicas para su implementación en el marco normativo peruano

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones

AUTOR: Jorge Martin Tafur Panduro

Asesor: Msc. / M.E. Luis Pacheco Zevallos

LIMA-JUNIO 2017

Índice

Resumen	8
Introducción.....	10
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	11
1.1. Objetivo.....	11
1.2. Metodología.....	12
1.3. Descripción de la problemática.....	12
1.4. Descripción de modalidades de uso compartido de espectro	18
1.4.1. Uso compartido activo de infraestructura en redes móviles	18
1.4.2. Roaming Nacional.....	20
1.4.3. Operador Móvil Virtual.....	21
1.4.4. Operador de Infraestructura Móvil Rural	22
1.4.5. Acceso dinámico al espectro.....	23
CAPITULO 2: EXPERIENCIA INTERNACIONAL	34
2.1. Experiencia Peruana en uso compartido de espectro	34
2.2. Experiencia Internacional	37
2.3. Resumen e ideas claves.....	53
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LAS MODALIDADES DE USO COMPARTIDO DE ESPECTRO	64
3.1. Análisis del Roaming Nacional.....	65
3.2. Análisis de la Compartición activa de infraestructura móvil con espectro compartido (modalidad MOCN).....	66
3.3. Análisis de la Asignación dinámica de espectro	70
3.4. Análisis del Operador de Infraestructura Móvil Rural (OIMR).....	81
3.5. Análisis del Operador Móvil Virtual (OMV).....	85
3.6. Casos de estudio.....	86
3.6.1. Caso de Estudio 1.....	86
3.6.2. Caso de Estudio 2.....	104
3.7. Resumen e ideas clave	111
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE AJUSTES EN LA NORMATIVA PERUANA PARA FOMENTAR EL USO COMPARTIDO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	119
4.1. Propuesta para el Roaming Nacional	120
4.2. Propuesta para la compartición activa de infraestructura con espectro compartido	123

4.3. Propuesta para los operadores de infraestructura móvil rural	126
4.4. Propuesta para los operadores móviles virtuales	127
4.5. Propuesta para la asignación dinámica de espectro.....	128
4.6. Resumen de propuestas revisadas	132
CONCLUSIONES.....	141
RECOMENDACIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	147
ANEXOS	160



Índice de Figuras

Figura 1.1. Estimación de crecimiento de tráfico a través de redes móviles.....	13
Figura 1.2. Estimación de dispositivos conectados a Internet Móvil.....	13
Figura 1.3. Crecimiento de líneas móviles en el Perú.....	15
Figura 1.4. Evolución de líneas móviles que accedieron a Internet Móvil (en Millones)	16
Figura 1.5. Evolución de la cobertura móvil, por tecnologías y por empresas, a nivel de centros poblados en el Perú	17
Figura 1.6. Modalidades de uso compartido activo de infraestructura móvil.....	20
Figura 1.7. Esquema técnico de Roaming	21
Figura 1.8. Esquema técnico de OMV	22
Figura 1.9. Esquema técnico de OIMR.....	23
Figura 1.10. Concepto de “Hueco de espectro” o “White Space”	23
Figura 1.11. Arquitectura de sistema DSA	24
Figura 1.12. Modelos de estrategia de implementación del DSA.....	27
Figura 1.13. Estrategias de uso compartido de espectro en el modelo jerárquico..	28
Figura 1.14. Arquitectura de referencia del estándar 802.22	30
Figura 1.15. Arquitectura de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro utilizando tecnología 802.11af	31
Figura 1.16. Esquemas de Coexistencia entre LTE-U y WIFI en banda de 5.8 GHz	33
Figura 2.1. Nivel de ocupación de bloque de espectro de 7.5 MHz en la banda UHF en las ciudades de Atlanta, Nueva Orleans y San Diego.	44
Figura 2.2. Niveles de acceso a la banda de 3.5 GHz en los Estados Unidos	47
Figura 2.3. Esquema de acceso a Espacios en Blanco de Espectro en Reino Unido	49
Figura 2.4. Utilización del espectro medido por MCMC	51
Figura 2.5. Utilización del espectro medido en la ciudad de Johor Baru, por la universidad de Teknologi Malaysia (UTM)	51
Figura 3.1. Proceso de identificación de la red del operador en el terminal móvil en un esquema MOCN	67
Figura 3.2. Arquitectura LSA	73
Figura 3.3. Zona de exclusión.....	74
Figura 3.4. Arquitectura SAS.....	75
Figura 3.5. Census Tracts y ubicación de transmisores de usuarios secundarios..	76
Figura 3.6. Arquitectura del esquema de asignación secundaria del espectro en las bandas de TV, bajo la modalidad de base de datos centralizada.....	78
Figura 3.7. Solución técnica de proyecto TUCAN 3G.....	82
Figura 3.8. Clasificación de OMV	85
Figura 3.9. Algoritmo de estimación de infraestructura móvil.	90
Figura 3.10.- Porcentaje de Ahorro del despliegue de infraestructura móvil utilizando compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue de infraestructura sin compartición, en función de la velocidad ofrecida en el año 1 del horizonte de evaluación.....	103

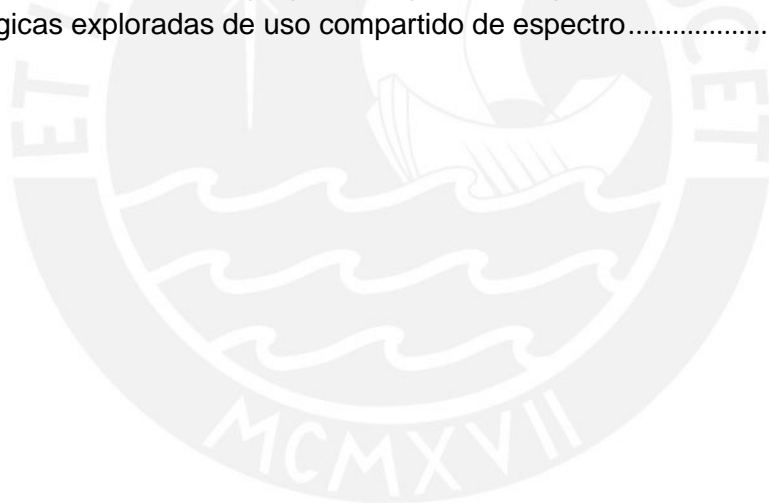
Figura 3.11.- Porcentaje de Ahorro del despliegue de infraestructura móvil utilizando compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue de infraestructura sin compartición, en función del porcentaje de espectro asignado a cada operador, en las bandas de 470 MHz y de 700 MHz	103
Figura 3.12.- Porcentaje de ahorro que presenta el OIMR al utilizar la compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue de infraestructura con compartición pasiva, en función de la cantidad de espectro a compartir.....	109
Figura 3.13.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura sin compartición activa	117
Figura 3.14.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura con compartición activa	117
Figura 3.15.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura con compartición activa vs despliegue sin compartición activa	118
Figura 3.16.- Caso de estudio 2: Ahorros del OIMR en el despliegue de infraestructura con compartición activa vs despliegue sin compartición activa en la banda de 700 MHz.....	118
Figura 4.1. Cobertura móvil a diciembre de 2016	121
Figura 4.2. Recomendación de tiempo de adopción de propuestas planteadas ...	140



Índice de Tablas

Tabla 1.1. Distribución de espectro radioeléctrico en el Perú para brindar servicios móviles y fijos inalámbricos a diciembre de 2016	14
Tabla 2.1. Resumen de Experiencia Internacional del Roaming Nacional.....	56
Tabla 2.2. Resumen de Experiencia Internacional del Compartición Activa de Infraestructura con espectro compartido	59
Tabla 2.3. Resumen de Experiencia Internacional de Asignación Dinámica de Espectro.....	61
Tabla 3.1. Resumen de modalidades de acceso al espectro de forma secundaria	71
Tabla 3.2. Esquemas de comparación de alternativas	87
Tabla 3.3. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz, sin compartición de infraestructura .	91
Tabla 3.4. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando la banda de 700 MHz, sin compartición de infraestructura	91
Tabla 3.5. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando la banda de 2.3 GHz, sin compartición de infraestructura.....	92
Tabla 3.6. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.....	92
Tabla 3.7. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando la banda de 700 MHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.....	93
Tabla 3.8. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando la banda de 2.3 GHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.	93
Tabla 3.9. Costo a pagar por espectro radioeléctrico licenciado	94
Tabla 3.10. Cálculo de canon radioeléctrico	95
Tabla 3.11. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador A.....	96
Tabla 3.12. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador B.....	96
Tabla 3.13. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador A...	96
Tabla 3.14. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador B...	97
Tabla 3.15. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador A.....	97
Tabla 3.16. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador B.....	98
Tabla 3.17. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador A...	98
Tabla 3.18. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador B...	99

Tabla 3.19. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido versus Despliegue de infraestructura móvil sin uso compartido, para el operador A.....	99
Tabla 3.20. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido versus Despliegue de infraestructura móvil sin uso compartido, para el operador B.....	100
Tabla 3.21. Cantidad de Estaciones Base a desplegar por el OIMR	106
Tabla 3.22. Cálculo del Canon radioeléctrico.....	107
Tabla 3.23. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura activa, para el OIMR	108
Tabla 3.24. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido, para el OIMR.....	108
Tabla 3.25. Ahorros OIMR utilizando MOCN vs sin compartición	108
Tabla 3.26. Ahorros asumidos por el Operador de Telecomunicaciones que cede espectro al OIMR en la zona de análisis.....	110
Tabla 3.27. Resumen de características técnicas y regulatorias de alternativas de compartición de espectro.....	111
Tabla 3.28. Resumen de ventajas y desventajas de alternativas técnicas y regulatorias de alternativas de compartición de espectro	113
Tabla 4.1. Resumen de propuestas para la implementación de las alternativas tecnológicas exploradas de uso compartido de espectro.....	133



Resumen

El espectro radioeléctrico es el insumo esencial para prestar servicios inalámbricos. Un correcto y eficiente uso del mismo permite que los prestadores de estos servicios, en particular, los servicios móviles, puedan atender de manera eficaz y con calidad de servicio a sus usuarios en un escenario en donde se observa una creciente demanda exponencial de datos y de dispositivos conectados a la Internet.

No obstante, el espectro radioeléctrico para servicios inalámbricos es un recurso escaso, por lo que establecer el máximo provecho de uso, utilizando soluciones tecnológicas que permitan compartir el uso del mismo entre diversos servicios inalámbricos, con el menor grado de interferencia entre ellos es de suma utilidad para maximizar el uso eficiente del espectro.

Es así que la presente tesis, tiene como objetivo explorar diversas soluciones tecnológicas y regulatorias como: i) el Roaming Nacional, ii) la compartición de infraestructura activa con espectro compartido, iii) la asignación dinámica de espectro, iv) los operadores móviles virtuales y v) los operadores de infraestructura móvil rural, que permitan compartir de manera efectiva el uso del espectro radioeléctrico y mejorar el uso eficiente del mismo. Para ello, se realiza una revisión del estado del arte de dichas soluciones tecnológicas y regulatorias, se revisa la experiencia internacional de la implementación de las mismas en Latinoamérica Europa y Asia, así como un análisis técnico y regulatorio de las ventajas y desventajas de las mismas.

Luego de ello, se proponen criterios técnicos que se deben de considerar en caso se implementen dichas soluciones tecnológicas en el mercado peruano, ya sea de manera obligatoria para todo el sector o criterios técnicos generales para aprobar acuerdos privados entre operadores móviles. Asimismo, se mencionan cuáles serían los cambios normativos necesarios para la implementación de las mismas a nivel regulatorio.

Finalmente, como parte de las recomendaciones de la presente tesis se propone una línea de tiempo de adopción de dichas alternativas tecnológicas revisadas, así como propuestas para realizar proyectos pilotos que contemple el uso de los Espacios en Blanco de Espectro por el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones. Asimismo, se recomienda que para futuros estudios, se estima necesario que se estudie una nueva metodología de que permita al concedente del espectro

radioeléctrico en el Perú (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) evaluar de mejor manera las metas de uso del espectro radioeléctrico en las concesiones de espectro, toda vez que la actualmente vigente no permite maximizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico. Asimismo, se recomienda incentivar el uso del espectro no licenciado en conjunto con espectro licenciado por parte de los operadores móviles, con la finalidad de brindar mayores facilidades para atender la exponencial demanda de datos del sector, mediante la revisión de regulaciones que permitan un uso justo del espectro en bandas como la de 5.8 GHz.



Introducción

Los servicios inalámbricos a través de redes móviles, y en particular, el servicio de internet móvil, vienen presentando un importante crecimiento en los últimos años. En efecto, el nivel de dispositivos conectados y el tráfico de datos a través de las redes móviles han experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, por lo que los operadores necesitan desplegar una mayor infraestructura así como de disponer de una mayor cantidad de espectro radioeléctrico para atender la demanda de usuarios y de tráfico. En ese escenario, y dado que el espectro radioeléctrico es un recurso escaso, su uso eficiente es de suma importancia para atender la demanda de espectro de los operadores de telecomunicaciones. En ese sentido, el uso compartido del espectro en sus diferentes modalidades, coadyuvaría a que los operadores puedan utilizar de manera más eficiente el recurso escaso, aun cuando no cuenten con bandas adicionales de espectro.

De esta manera, la presente tesis tiene como objetivo explorar las diferentes modalidades de uso compartido de espectro que existen actualmente en la industria, poniendo énfasis en las técnicas de asignación dinámica del espectro y uso de radios cognitivas, así como revisar las experiencias internacionales de países que ya hayan adoptados dichas soluciones, con la finalidad de brindar recomendaciones sobre la implementación de las mismas en el Perú.

Para ello, en el capítulo 1 se describe el objetivo y la metodología de la presente tesis, así como se describe el estado del arte de las diferentes modalidades de uso compartido de espectro disponibles en la industria. En el capítulo 2, se describe las experiencias internacionales de los países que han implementado las diferentes modalidades de uso compartido de espectro, mientras que en el capítulo 3 se presenta un análisis de las ventajas y desventajas de las modalidades descritas en el capítulo 1, en base a sus características técnicas y al éxito que obtuvieron en los diferentes países revisados en la experiencia internacional. En el capítulo 4, en base al análisis realizado en el capítulo 3 y a las experiencias internacionales vistas en el capítulo 2, se brindan propuestas y recomendaciones para la implementación de dichas soluciones de uso compartido de espectro en el Perú. Finalmente, en la última sección de la tesis, se presentan las conclusiones y recomendaciones las cuales resumen los principales aspectos analizados en la presente tesis sobre compartición de espectro y la implementación de dichas soluciones para el caso peruano.



CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Objetivo

La presente tesis tiene como objetivo explorar el uso compartido del espectro radioeléctrico como herramienta técnica para coadyuvar a un uso más eficiente del mismo en el país. En particular, se revisaran modalidades de uso compartido de espectro tales como: i) el uso compartido de infraestructura activa de redes móviles con uso compartido de espectro, ii) el Roaming Nacional, iii) los operadores móviles virtuales, iv) los Operadores de Infraestructura Móvil Rural; y (v) las técnicas de asignación dinámica del espectro (Dynamic Spectrum Access). Asimismo, se presentará la experiencia internacional sobre la implementación de dichas herramientas y se brindarán recomendaciones técnicas para la implementación de las mismas a nivel normativo en el país.

1.2. Metodología

La metodología a seguir en la presente tesis se basa en la descripción de la problemática sobre la necesidad de espectro y como un uso más eficiente del mismo puede coadyuvar a mitigar dicha problemática, la revisión del estado del arte de las modalidades de uso compartido de espectro disponibles en la industria, la revisión de la experiencia internacional sobre dichas modalidades y el análisis de dichas experiencias con la finalidad de analizar la factibilidad y brindar recomendaciones para la implementación de dichas soluciones técnicas en nuestro país.

1.3. Descripción de la problemática

El espectro radioeléctrico es el medio por el cual se prestan diferentes servicios inalámbricos, entre ellos, la telefonía móvil, la banda ancha móvil, la banda ancha fija inalámbrica, entre otros servicios. Asimismo, se considera que el espectro radioeléctrico es un recurso escaso, toda vez que existen limitadas bandas de frecuencias estandarizadas para brindar servicios inalámbricos. Es preciso indicar que dicho recurso es administrado por el Estado, por lo que la administración del mismo, incentivando su uso de forma más eficiente por parte de los operadores móviles es de suma importancia en la promoción de la competencia y en el crecimiento del sector.

En ese sentido, es importante mencionar que se estima que el tráfico de datos a través de redes móviles tendrá un crecimiento exponencial hacia el año 2020, alcanzando los 30 564 Petabytes¹/mes, tal como se muestra en la figura 1.1 [1]. De manera similar, se estima que la cantidad de dispositivos conectados hacia el año 2021 crecerá de manera exponencial, principalmente por el advenimiento del internet de las cosas, alcanzando los 28 Mil millones de dispositivos conectados, tal como se muestra en la figura 1.2 [2]. Dado lo anterior, la industria necesitará de una mayor cantidad de espectro para cubrir con la demanda de dispositivos conectados y de datos que se avecina.

¹¹ Petabyte= 10³ Terabytes = 10⁶ Gigabytes

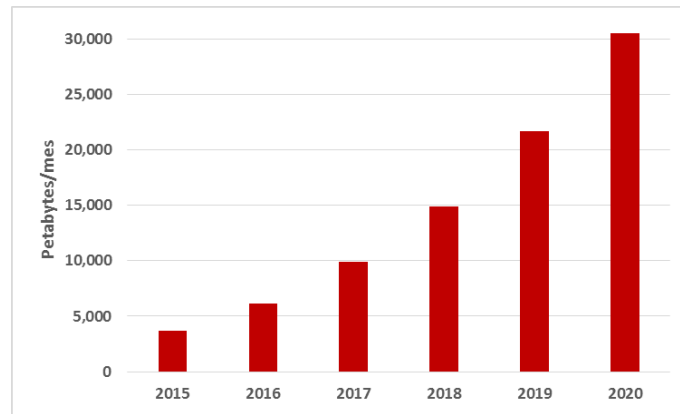


Figura 1.1. Estimación de crecimiento de tráfico a través de redes móviles

Fuente: CISCO

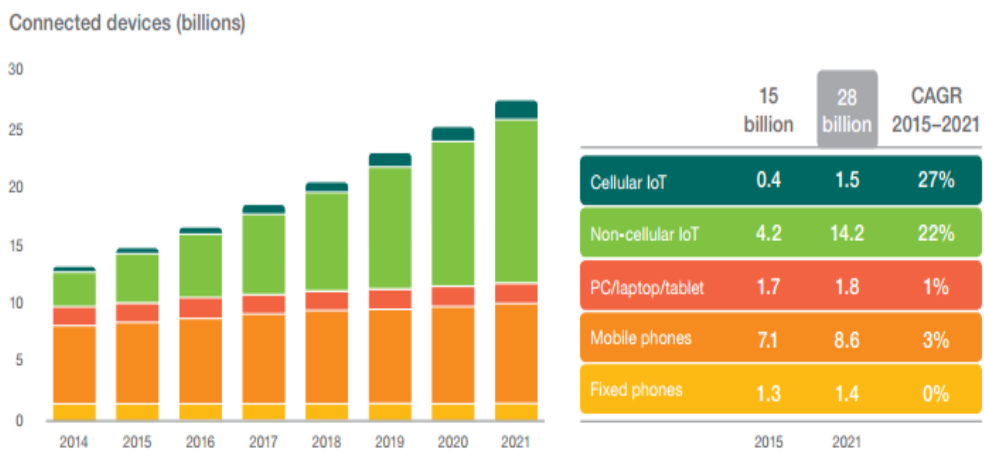


Figura 1.2. Estimación de dispositivos conectados a Internet Móvil

Fuente: Ericsson

En efecto, en el año 2013, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), estimó que para el año 2020, en promedio, se necesitará de un total de 900 MHz de espectro en zonas de baja densidad de usuarios y de 1420 MHz para zonas de alta densidad de usuarios para cubrir con la demanda de datos a futuro, asumiendo que se deban brindar aplicaciones con alta calidad de servicio, tanto en zonas de baja densidad de usuarios como de alta densidad de usuarios²[3]. Comparando directamente dichas estimaciones de necesidad de espectro, con la distribución de

² Cabe mencionar que las estimaciones de la UIT consideran que el tráfico móvil hacia el año 2020 crecería 80 veces con respecto al tráfico en el año 2011 en zonas de alta densidad de usuarios, y 44 veces con respecto al mismo año en zonas de baja densidad de usuarios. Asimismo, considera Bitrates promedios por usuarios elevados (v.g. 20000 Kbps), tanto en el sentido de bajada como en el de subida. Para mayor detalle de la metodología de estimación de espectro utilizada por la UIT, se recomienda revisar la Recomendación ITU-R M.1768-1.

bandas asignadas en el Perú para servicios móviles y/o fijos inalámbricos mostrada en la tabla 1.1., se tiene que a diciembre de 2016, en el Perú existirían 787.9 MHz de espectro asignado³, por lo que existiría una brecha de 112.1 MHz de espectro en zonas de baja densidad hacia el año 2020 y de 710.1 MHz de espectro en zonas de alta densidad hacia el año 2020. No obstante cabe indicar que las estimaciones para los escenarios de alta densidad de usuarios de la UIT están basados en estructuras de mercado más desarrollados que el peruano⁴, en ese sentido, se puede considerar que para el año 2020, la demanda de tráfico en el Perú se asemejará más a la estimación de zonas de baja demanda de la UIT. Aun así, se considera que existiría una brecha de 112.1 MHz a ser asignados hacia el año 2020 en nuestro país con respecto a lo recomendado por la UIT.

Tabla 1.1. Distribución de espectro radioeléctrico en el Perú para brindar servicios móviles y fijos inalámbricos a diciembre de 2016

Bandas atribuidas a servicios móviles y/o fijos inalámbricos											
Empresa	450 MHz	700 MHz	800 MHz	850 MHz	900 MHz	1900 MHz	1700/2100 MHz	2300 MHz	2600 MHz	3500 MHz	Total (MHz)
América Móvil	7.5	30		25		35			78 ⁵	50	225.5
Telefónica del Perú	10	30		25	16	25	40			50	196
Entel (incluye Americatel)		30	16.4			35	40	30	54	50	255.4
Viettel					32	25					57
DirecTV								30			30
OLO del Perú									24		24
										Total	787.9

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

³ Información recopilada del registro nacional de frecuencias del MTC: http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/servicios_publicos/registro_frecuencias.html

⁴ En la recomendación ITU-R M.2072, por el cual se estima la estructura de mercado de las telecomunicaciones hacia el año 2020, se estudian casos de países como Corea del Sur, Japón, Estonia, Estados Unidos y Canadá, los cuales presentan niveles de uso y de tráfico más elevados que el Perú, toda vez que adoptaron tecnologías móviles como la 3G y la 4G mucho antes que nuestro país, y la UIT considera que el crecimiento de su tráfico de datos será altamente acelerado.

⁵ Se considera los 18 MHz del operador TVS Wireless y los 60 MHz transferidos a éste por el operador TC Siglo 21 dentro del espectro asignado a América Móvil, toda vez que éste último compro las acciones de Yota del Perú, conformado por OLO, TVS Wireless y TC Siglo 21.

Información Disponible en: <http://elcomercio.pe/economia/negocios/claro-confirma-adquirir-empresa-olo-peru-202126>. Último acceso: 29 de diciembre de 2016.

De esta manera, se considera que las estimaciones realizadas por la Unión de Telecomunicaciones, en particular, a las estimaciones de baja densidad de usuarios, guardan relación con lo visto en el mercado peruano en la Tabla 1.1., en el sentido en el que se observa que sería necesario una mayor cantidad de recursos en los años venideros, considerando el crecimiento que ha venido teniendo el sector de telecomunicaciones en el país y el advenimiento del Internet de las Cosas. En efecto, se evidencia que desde el año 2005, existe un aumento significativo de usuarios de telefonía móvil, pasando de 5.58 Millones de líneas móviles en dicho año a 36.99 millones de líneas móviles a diciembre de 2016, tal como se muestra en la figura 1.3 [4]. Asimismo, desde el año 2014, se evidencia un crecimiento de líneas móviles que accedieron a Internet Móvil⁶, pasando de 11.4 Millones de dispositivos en el primer trimestre del año 2014 a 17.9 millones de líneas al cuarto trimestre del año 2016, tal como se muestra en el figura 1.4 [5]. También, se observa un crecimiento constante de centros poblados con cobertura móvil⁷, sobre todo en lo que respecta a la cobertura 3G y 4G⁸, tal como se observa en la figura 1.5 [6].



Figura 1.3. Crecimiento de líneas móviles en el Perú

Fuente: OSIPTEL

⁶ El OSIPTEL considera como Internet Móvil a aquellas conexiones que pueden alcanzar velocidades pico de al menos 256 Kbps.

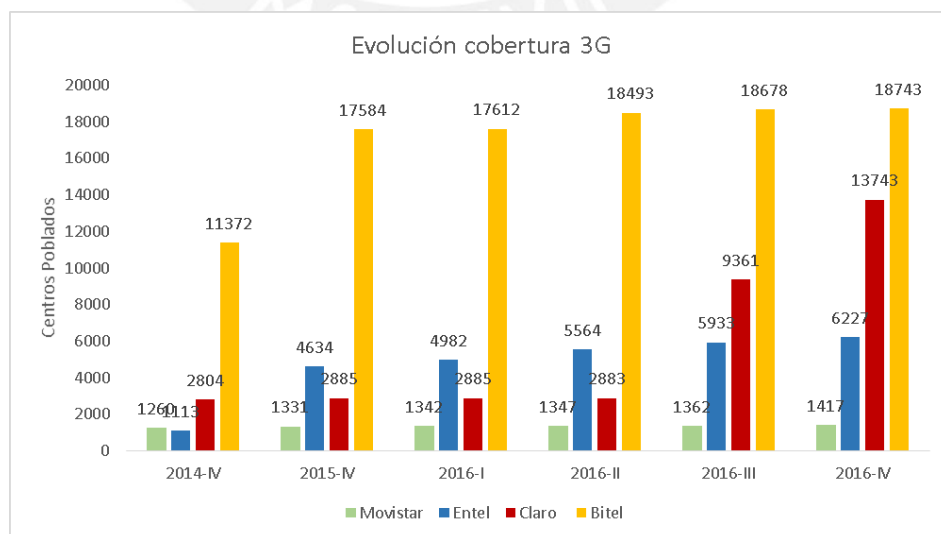
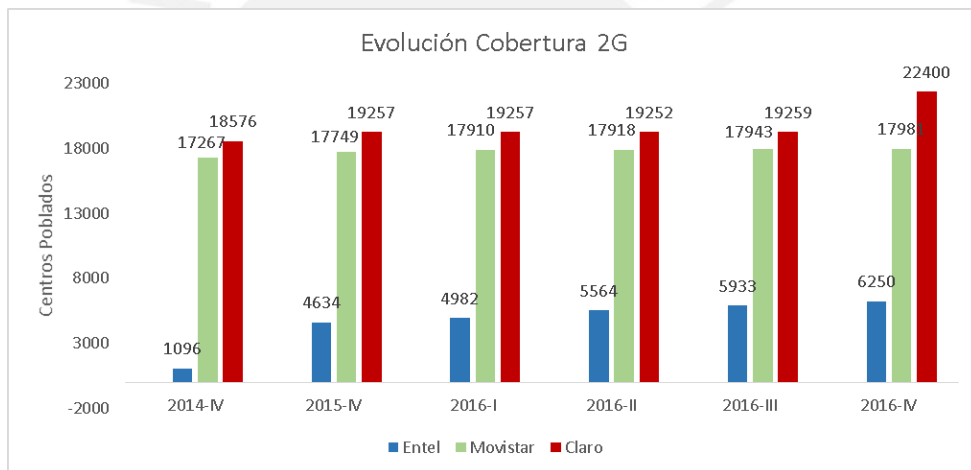
⁷ Cabe mencionar que de acuerdo a la Resolución N°135-2013-CD/OSIPTEL, por el cual se aprueba el Reglamento para la supervisión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones móviles y fijos con acceso inalámbrico, para que un centro poblado pueda ser declarado con cobertura móvil, al menos en el 80% de las cuadrículas trazadas en dicho centro poblado debe contar con al menos -95 dBm de intensidad de señal.

⁸ En el Perú, de manera comercial, se conoce como cuarta generación móvil (4G) a la tecnología LTE (Long Term Evolution) y a la tercera generación móvil (3G) a las tecnologías UMTS, HSDPA, HSUPA y HSPA+.



Figura 1.4. Evolución de líneas móviles que accedieron a Internet Móvil (en Millones)

Fuente: OSIPTEL



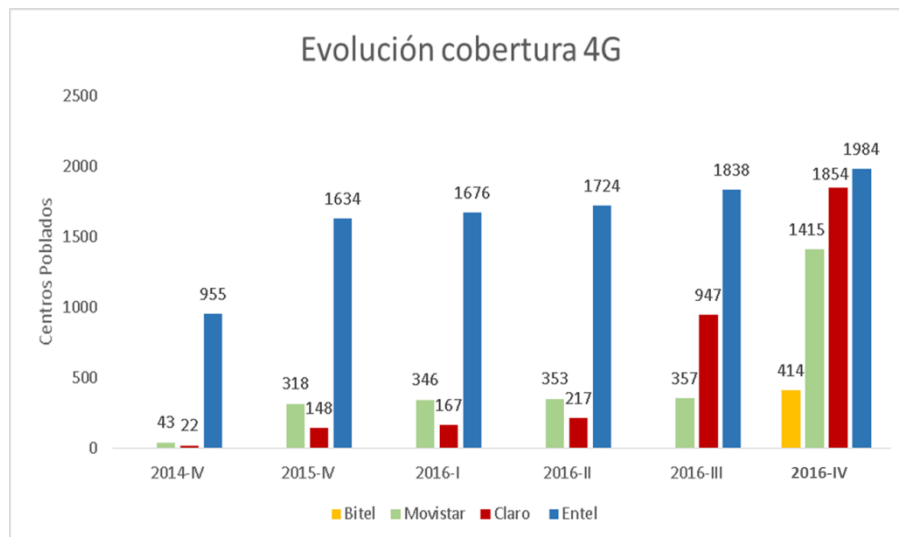


Figura 1.5. Evolución de la cobertura móvil, por tecnologías y por empresas, a nivel de centros poblados en el Perú

Fuente: OSIPTEL

Dado lo indicado en los párrafos precedentes, se evidencia la necesidad de la industria tanto a nivel mundial como a nivel nacional de contar con una mayor cantidad de espectro radioeléctrico para cubrir la demanda de datos y de dispositivos conectados que se avecina. En ese sentido, una de las alternativas para lograr lo anterior es poner a disposición de la industria una mayor cantidad de bandas de espectro destinadas al servicio móvil.

En esa línea, en el World Radiocommunication Conference (WRC) del año 2015 realizado en Ginebra, se identificó que las bandas de 1427-1518 MHz y 3.4 - 3.6 GHz serían óptimas para brindar servicios móviles, por lo cual se añadiría espectro adicional disponible para la industria con la finalidad de cumplir con sus necesidades del recurso escaso. Asimismo, se estableció que la UIT destinará recursos para estudiar bandas de espectro óptimas para servicios móviles en porciones del espectro superiores a los 6 GHz que serán presentadas en el WRC del año 2019 [7]. Asimismo, diversos países de la región 2 y 3⁹ estuvieron de acuerdo en que parte de la banda de 470 MHz a 698 MHz sea destinada a servicios móviles y que se migren los servicios de radiodifusión por televisión que actualmente operan en esta banda, sin embargo, la Región 1¹⁰ no estuvo de acuerdo con esto indicándolo que necesitan más estudios para declarar un nuevo

⁹ La Región 2 está compuesta por el continente americano y la región 3 por Asia y Oceanía.

¹⁰ La Región 1 está compuesta por Europa y África.

dividendo digital en dicha porción del espectro, estimando que dichos estudios estarán disponibles para el WRC del año 2023 [8].

No obstante a lo mencionado previamente, el proceso de estandarización y adopción de nuevas bandas de espectro como parte del portafolio de la industria en su equipamiento de radio acceso no suele ser inmediato, por el contrario, suele tomar cierto tiempo, por lo que la identificación de bandas adicionales de espectro y su respectiva estandarización sería una solución a mediano o largo plazo.

Sin embargo, existen tecnologías que permiten utilizar de manera más eficiente el espectro actualmente asignado a los operadores, tanto de servicios móviles como de radiodifusión, las cuales se basan en el uso compartido del recurso escaso, en las modalidades de uso compartido activo de infraestructura móvil con espectro compartido, Roaming Nacional, operador móvil virtual, operador móvil de infraestructura rural y técnicas de asignación dinámica del espectro (en base al uso de radios cognitivas) sacando provecho de los White Spaces (en adelante, Espacios en Blanco de Espectro) los cuales de acuerdo con [9] son porciones no utilizadas o sub-utilizadas del espectro radioeléctrico licenciado, y que pueden ser utilizadas en un determinado tiempo y zona geográfica por un servicio secundario sin impactar en el uso primario por el que fue licenciado, aumentando el uso eficiente del recurso escaso. De esta manera, dichas tecnologías se presentan como una solución que coadyuve en el corto y/o mediano plazo a atender la necesidad de mayor cantidad de espectro en la industria.

1.4. Descripción de modalidades de uso compartido de espectro

A continuación se describirá dichas soluciones técnicas, mostrado de manera general el funcionamiento de cada una de ellas.

1.4.1. Uso compartido activo de infraestructura en redes móviles

a. Activa, Modalidad Multi Operator RAN (MORAN)

En esta modalidad, los operadores comparten la parte electrónica de radio acceso de la estación base, esto es, las antenas, los equipos de radiofrecuencia, los equipos de procesamiento de banda base, a excepción del espectro radioeléctrico. En ese sentido, en esta modalidad, los operadores que comparten infraestructura deben contar con espectro radioeléctrico asignado y con su propia red core de voz y datos [10]. Aun cuando esta modalidad no sea exactamente de compartición de espectro, es importante mencionarla, toda vez que sirve como base para la

siguiente modalidad de compartición de infraestructura en donde sí se comparte espectro y se menciona a continuación.

b. Activa, Modalidad Multi Operator Core Network (MOCN)

En esta modalidad, los operadores comparten la infraestructura mencionada en la modalidad MORAN con la diferencia que también comparten el espectro ya sea realizando un “spectrum pooling” del mismo, en donde los operadores comparten el ancho de banda de sus espectros asignados entre ellos, o en la modalidad de “spectrum sharing” en donde uno de los operadores no cuente con espectro y utilice el espectro de otro. Este último caso, sería una solución técnica altamente atractiva para aquellos operadores que no posean espectro en una determinada banda y operadores que cuenten con espectro disponible para compartir [10].

Cabe mencionar que la modalidad de uso compartido MOCN esta soportada desde la Release 6 del 3GPP (en adelante, HSUPA¹¹), tal como lo menciona la especificación TS 23.251 del 3GPP¹², por lo que la correcta operación de la misma depende de que el equipamiento de radio-acceso como los terminales móviles soporten dicha versión [10].

c. Activa, Modalidad Gateway Core Network (GWCN)

En esta modalidad, adicionalmente a los elementos de la red de acceso, los operadores también comparten algunos nodos de la parte de núcleo, como las pasarelas de la red core de voz y de datos (GMSC¹³ y SGSN¹⁴, respectivamente). Asimismo, en esta modalidad los operadores de red no compartirían los nodos de conmutación de la red core (MSC, GGSN) ni la bases de datos de la locación de los usuarios (HLR), esto es, el procesamiento de las llamadas se realizaran en los nodos de núcleo perteneciente a cada operador [11].

¹¹ High Speed Uplink Packet Access

¹² Disponible en: <http://www.3gpp.org/DynaReport/23251.htm>

¹³ Gateway Mobile Switching Centre

¹⁴ Serving GPRS support node

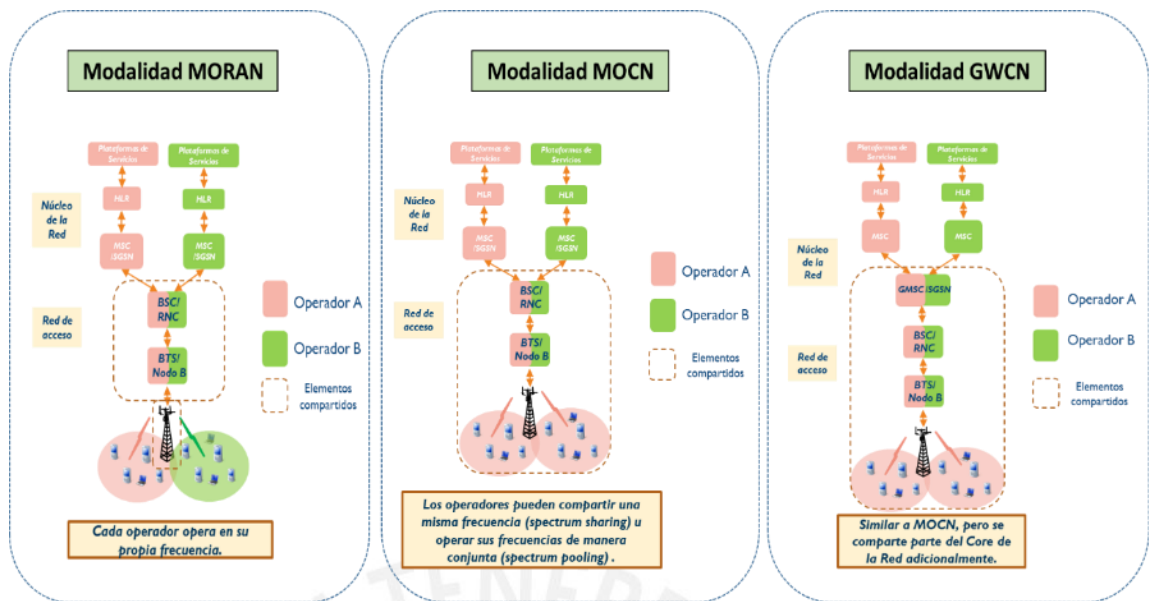


Figura 1.6. Modalidades de uso compartido activo de infraestructura móvil

Fuente: [11]

1.4.2. Roaming Nacional

En esta modalidad, un operador “A” brinda acceso a los usuarios de un operador “B”, en zonas en donde el operador “B” no cuenta con cobertura, pero sí el operador “A”. Cabe destacar que a diferencia de las modalidades de uso compartido de infraestructura activa que se describieron previamente, el operador “B” no tiene control de algún elemento de red del operador “A”, por lo que depende enteramente de la capacidad y la calidad de la red del operador “A” en las zonas en donde no cuenta con cobertura. Esto es, la conmutación y el procesamiento de las llamadas de voz y los datos transferidos serán procesados enteramente por la red del operador “A” [12].

Técnicamente, para establecer un acuerdo de Roaming entre operadores, es necesario desplegar un enlace de interconexión directa entre los elementos de la red núcleo de los operadores en cuestión. Este enlace sirve para compartir información de ubicación de los usuarios, actualizar la información de ubicación en los usuarios en las bases de datos (HLR, VLR), acceder al plan tarifario y otra información relevante de los usuarios del operador “B”, entre otros [12].

Es importante mencionar que aquellos usuarios del operador “B” que ingresen a una zona geográfica en donde su operador contratado no tenga cobertura, pero éste cuente con un acuerdo de Roaming con el operador “A”, los usuarios del

operador "B", se conectarán en dicha zona al operador "A" y accederán enteramente a la red de dicho operador, mostrándose en sus equipos terminales el logo y la identificación de red del operador "A" [12].

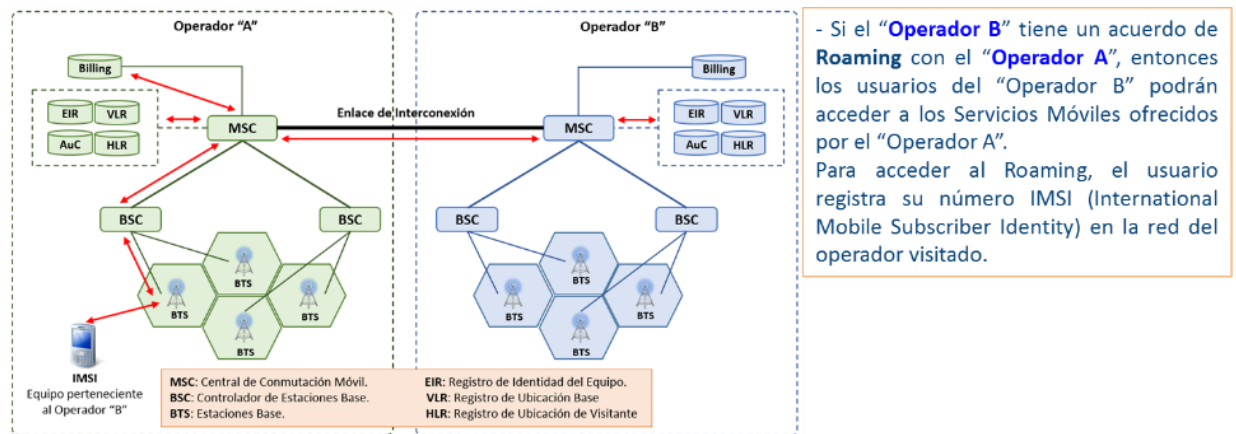


Figura 1.7. Esquema técnico de Roaming

Fuente: [12]

1.4.3. Operador Móvil Virtual

Los operadores móviles virtuales (OMV), son aquellos operadores que no cuentan con espectro radioeléctrico y arriendan dicho espectro a un operador de red para su operación. Asimismo, un OMV por lo general arrienda tanto la infraestructura de radio acceso, transporte y conmutación a los operadores de red para brindar servicios móviles, aunque también podría desplegar su propia infraestructura. A diferencia del uso compartido activo de infraestructura con uso compartido de espectro, un OMV que alquila infraestructura a los operadores, no posee control de los nodos del operador de red, es decir, depende enteramente de las configuraciones y características técnicas de la red alquilada. Este tipo de operadores se orientan mayormente a brindar servicios a nichos específicos del mercado, en donde los operadores de red no hayan cubierto por completo [13].

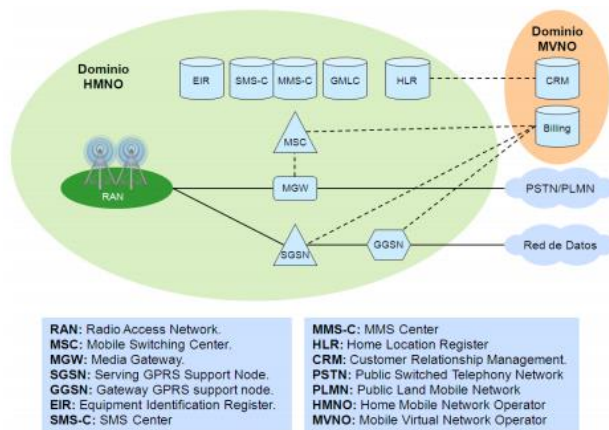


Figura 1.8. Esquema técnico de OMV

Fuente: [13] en base a Analysys Mason

1.4.4. Operador de Infraestructura Móvil Rural

Los operadores de infraestructura móvil rural (OIMR), de acuerdo con el Reglamento de la Ley N°30083 que establece medidas para fortalecer la competencia en el mercado de los servicios públicos móviles, son concesionarios que poseen título habilitante para prestar servicios portadores, cuentan con un registro de Operador de Infraestructura Móvil Rural y brindan acceso a facilidades de radio acceso y transporte de señales. En sentido, son operadores que poseen infraestructura de radio acceso (civil y de radiofrecuencia) y transporte pero carecen de elementos de conmutación (red núcleo) y de espectro radioeléctrico. Los mismos brindan servicios a operadores de red (OMR), de manera que ponen a disposición de estos su infraestructura para el operador de red pueda brindar servicios inalámbricos utilizando su espectro en la localidad rural en donde los OIMR brinden el servicio. Cabe indicar que los OIMR no cuentan con usuarios finales [14]. Si bien es cierto un OIMR, no cuenta con espectro propio, y por ende no lo puede compartir, el OIMR podría evolucionar a un esquema a donde el operador rural podría alquilar el espectro a algún operador de red, permitiendo que operadores móviles accedan a su red en la figura de operadores móviles virtuales, sin embargo, esta última figura no se ha dado en la reglamentación peruana, pero se considera pertinente considerarlo y analizarlo en el capítulo 3 y 4 de la presente tesis.

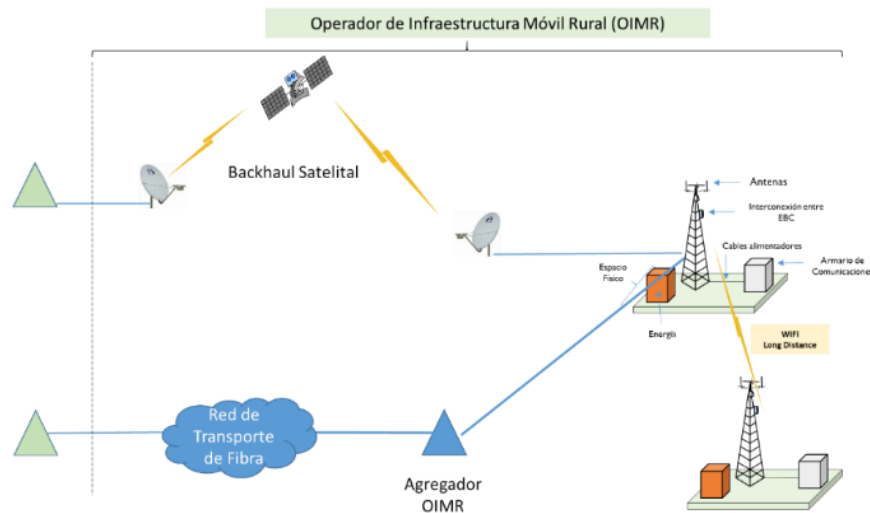


Figura 1.9. Esquema técnico de OIMR

Fuente: Elaboración Propia

1.4.5. Acceso dinámico al espectro

El acceso dinámico del espectro radioeléctrico (DSA¹⁵ por sus siglas en inglés) se basa en la utilización por parte de un servicio secundario, de canales de frecuencias asignadas a un servicio primario que no se encuentren utilizadas en un determinado instante de tiempo y/o en una determinada zona geográfica, de manera que se logre acceder al recurso escaso de manera “oportunista” y sin interferir con los usuarios del servicio primario. Estos canales no utilizados se conocen como Espacios en Blanco de Espectro (en inglés, “Spectrum holes” o “White space”), los cuales se esquematizan en la siguiente figura para un mejor entendimiento [15].

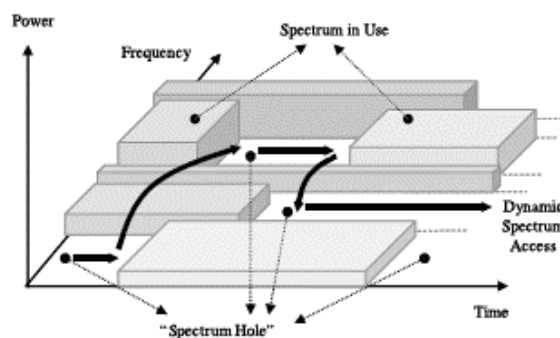


Figura 1.10. Concepto de “Hueco de espectro” o “White Space”

Fuente: [15]

¹⁵ Dynamic Spectrum Access

Para lograr la convivencia de dos servicios inalámbricos operando en la misma banda y sin interferirse, el DSA se basa en dos componentes: i) el sensado del espectro (*spectrum sensing*) y ii) el uso compartido del espectro (*spectrum sharing*). De esta manera, los usuarios del servicio secundario en una determinada banda, primero sensan la banda con la finalidad de encontrar canales no utilizados, luego de esto, se comparte el espectro entre los usuarios del servicio primario y del servicio secundario [15].

A nivel de arquitectura, las redes que utilizan el DSA constan de dos componentes principales, la red primaria la cual utiliza espectro licenciado y la red secundaria o red DSA, la cual utilizara de manera oportunista el espectro de la red primaria [16].

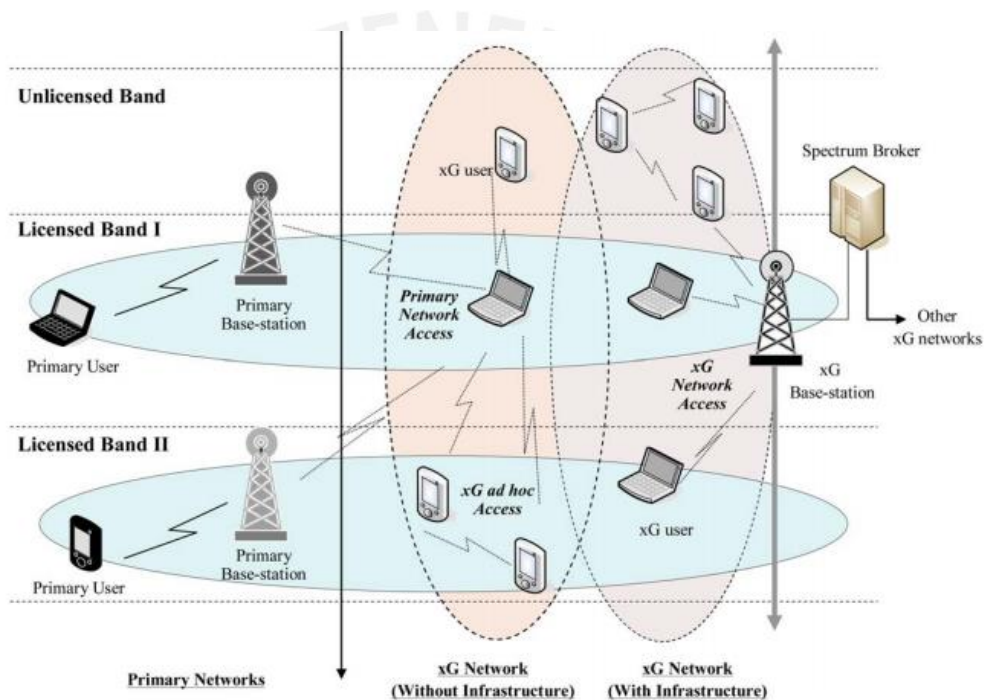


Figura 1.11. Arquitectura de sistema DSA

Fuente: [16]

La red primaria, está conformada por las estaciones base radioeléctricas licenciadas y los usuarios primarios, mientras que la red secundaria, está conformada por las estaciones base radioeléctricas secundarias, los usuarios secundarios equipados con receptores cognitivos y el administrador de espectro (*spectrum broker*), el cual es el encargado de administrar y asignar los canales de espectro no utilizados por los usuarios primarios a los usuarios secundarios [16] . Dicha arquitectura se muestra en la figura 1.11.

Cabe recalcar que para la implementación del DSA sea necesario del uso de Radios Cognitivas, basadas en SDR¹⁶, dado que es necesario cambiar de manera casi inmediata parámetros de radio como potencia, modulación, frecuencia de operación, forma de onda, entre otros, mediante el uso de un mismo hardware, con la finalidad de que sea factible transmitir y recibir señales de diferentes servicios a diferentes frecuencias [17]. A continuación se procederá a describir los componentes principales del DSA.

1.4.5.1. Sensado del Espectro

El sensado del espectro es de suma importancia para detectar los Espacios en Blanco de Espectro en una determina zona geográfica y sus funciones se ubican principalmente en la capa 1 del modelo TCP/IP (capa física). De esta manera el sensado del espectro debe ser capaz de escanear y sintonizar en un amplio rango de frecuencias (típicamente de 5 MHz a los 6GHz), midiendo en tiempo real el grado de ocupación y los niveles de interferencia de dicho rango de frecuencias [15].

Entre las principales técnicas para el sensado del espectro radioeléctrico se tiene a la detección por umbral de energía, al filtro *matched*, a la detección por características cicloestacionarias, detección cooperativa, detección por nivel de interferencia, entre otros [16].

Por su simpleza, la técnica de sensado de espectro por detección por umbral de energía es una de las más utilizadas, y se basa en la detección del nivel de energía de una señal por encima de un umbral pre definido. En caso la señal exceda dicho umbral, se considera que el canal se encuentra ocupado. En el caso de la técnica del filtro *matched*, el receptor debe conocer previamente las características de la señal a medir (por ejemplo: tipo y orden de modulación) y contrastar dicha información con las señal recibida. Para la técnica de detección por características cicloestacionarias, esta se basa en la hipótesis de que la mayoría de las señales son moduladas utilizando algún tipo de señal periódica como las funciones senos y cosenos, tren de pulsos, códigos de ensanchamiento (*spreading*) periódicos, entre otros, por lo que aplicando la función de correlación espectral a estas señales, se puede conocer y separar el ruido de la señal en sí, permitiendo identificar con mejor precisión la señal del transmisor. Por su parte, en la detección cooperativa, se comparte entre los diferentes nodos secundarios la información recibida por estos

¹⁶ Software Defined Radios

sobre las señales del transmisor primario, de esta manera se logra estimar ya sea de forma centralizada (realizadas por la estación base transmisora) o descentralizada (realizada por los receptores cognitivos de los usuarios secundarios en base a la información compartida entre ellos) la presencia de canales no utilizados. Por último, en la detección por nivel de interferencia, se establece un nivel máximo de piso de ruido en el cual pueden operar los servicios secundarios de manera simultánea a los servicios primarios [16].

1.4.5.2. Uso compartido de espectro

Luego que los usuarios secundarios han identificado que porciones de espectro de una banda licenciada para un servicio primario no están siendo utilizadas, el siguiente paso es asignar dichos canales a los usuarios secundarios de forma tal que no interfieran con los usuarios del servicio primario. Para esto, el bloque de uso compartido de espectro del DSA debe contemplar sub-bloques como: el acceso múltiple a los bloques no utilizados (Spectrum Access), las funcionalidades de movilidad (spectrum mobility) y la asignación del mismo (spectrum allocation) [15].

Las técnicas de uso compartido de espectro referente al DSA, pueden ser clasificados en base a 3 aspectos: arquitectura, comportamiento de asignación del espectro y tecnologías de acceso al espectro. En lo que respecta a la arquitectura, esta puede ser centralizada o descentralizada. En la primera opción, un nodo central controla la asignación de espectro no utilizado entre los receptores secundarios y en la opción descentralizada, cada receptor es responsable de asignarse el espectro no utilizado. Con respecto a la clasificación en base a comportamiento de la asignación del espectro, se tiene a las técnicas de uso compartido cooperativa y no cooperativa, en donde en el primer caso, los nodos secundarios comparten información de niveles de interferencia entre sí, mientras que en el segundo caso, ocurre lo contrario, es decir, los nodos no comparten información entre sí. Por último, en la clasificación en base a las tecnologías de acceso al espectro, se tiene a las técnicas llamadas "Overlay" y "Underlay", en donde en el primero de los casos, un nodo secundario utiliza en tiempo y frecuencia, una porción de espectro no utilizada por un servicio primario, mientras que en la segunda técnica, el nodo secundario utiliza técnicas de espectro ensanchado por el cual transmite por debajo de un nivel de interferencia permisible por el servicio primario, de esta manera, logra que ambos servicios operen de manera que sus niveles de interferencia no sean perjudiciales entre ellos [16].

1.4.5.3. Estrategias DSA

Existen diferentes estrategias para implementar el DSA, las cuales se pueden clasificar en 3 modelos: i) El modelo de uso exclusivo, ii) el modelo de uso compartido abierto y iii) el modelo de acceso jerárquico [18], los cuales se muestran en la siguiente figura.

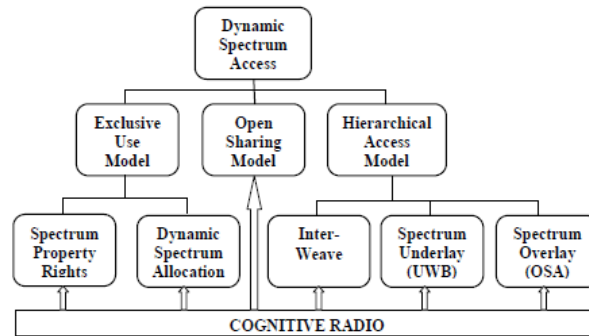


Figura 1.12. Modelos de estrategia de implementación del DSA

Fuente: [17]

En el primer modelo podemos encontrar dos enfoques, el de derechos de propiedad, por el cual se asignan bandas de frecuencias a operadores a nivel nacional y se les permite transar porciones de su espectro de manera libre en una especie de mercado secundario del espectro. Adicionalmente, se tiene a la asignación dinámica del espectro, en donde para este modelo, se entiende como la asignación de recursos de espectro en zonas geográficas definidas y en intervalos de tiempos pre definidos para diferentes servicios, dependiendo de su intensidad de uso [18].

Respecto al segundo modelo, el de uso compartido abierto - también llamado modelo de espectro común – cada usuario tiene igual derecho de acceder al espectro. Este modelo ha sido utilizado de manera exitosa en las bandas no licenciadas del espectro como las bandas ISM¹⁷ (v.g. 2.4 GHz y 5.8 GHz) [17].

Con respecto al tercer modelo, el jerárquico, los usuarios secundarios utilizan los recursos destinados a un servicio primario de manera tal que la interferencia producida sea limitada. En ese sentido, la literatura define 3 enfoques para alcanzar este cometido, a saber: i) enfoque “Inter-Weave”, ii) enfoque Underlay y iii) enfoque overlay [19] [20].

¹⁷ Industrial, Scientific and Medical (ISM).

En el enfoque Inter Weave, los usuarios secundarios reutilizan el espectro no utilizado en el dominio del espacio, tiempo, frecuencia, código o ángulo, es decir, utilizan el espectro subutilizado asignado a un servicio primario de manera oportunista identificando los Espacios en Blanco de Espectro [21]. En el enfoque Underlay, los usuarios secundarios utilizan de manera simultánea el espectro de los servicios primarios pero a niveles de potencia reducidos, por debajo del piso de ruido soportado por los usuarios primarios [21]; mientras que en el enfoque overlay, los usuarios secundarios pueden operar a niveles de potencia similares a los utilizados por los usuarios primarios, dado que se basa en la premisa de que los transmisores secundarios (transmisores cognitivos) conocen los mensajes transmitidos por los usuarios primarios (usuarios no cognitivos), lo cual permite que la interferencia producida por los mensajes de los usuarios primarios, se puedan atenuar en los receptores secundarios (receptores cognitivos) mediante filtros y técnicas de decodificación, asimismo permite que parte de la potencia de transmisión de los usuarios secundarios pueda ser utilizada para retransmitir los mensajes de los usuarios primarios y el resto de potencia utilizado para la comunicación entre usuarios secundarios; esto hace que la relación Señal a Ruido (SNR) de los usuarios primarios (no cognitivos) no se vea seriamente afectada, dado que por un lado, la misma se verá mermada por la interferencia de los usuarios secundarios pero a la vez se verá incrementada por la retransmisión de los mensajes primarios a cargo de los transmisores de los usuarios secundarios, permitiendo que la señal de los transmisores secundarios puedan superar los pisos de ruidos máximos permitidos [22] .

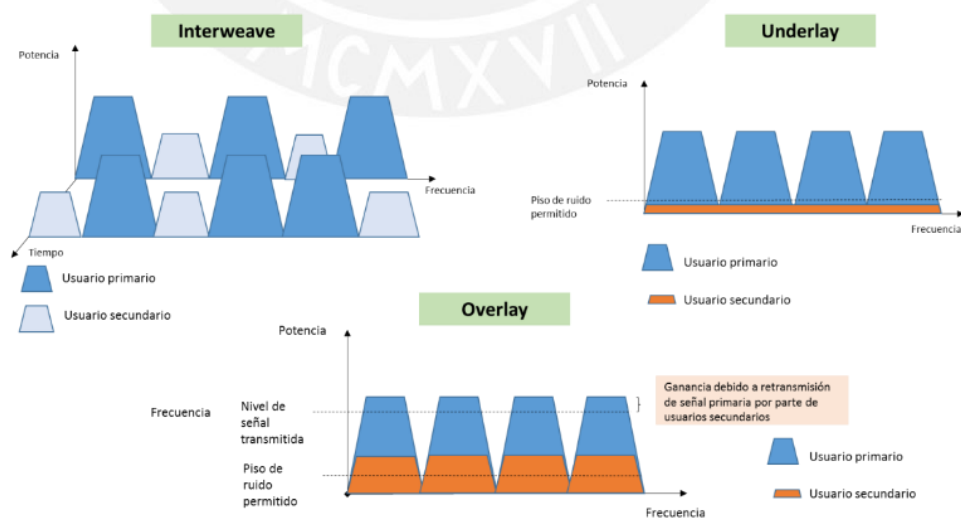


Figura 1.13. Estrategias de uso compartido de espectro en el modelo jerárquico

Elaboración: Propia, en base a [23]

1.4.5.4. Estándares DSA

Existen diversas iniciativas que buscan estandarizar el uso del DSA a nivel mundial. Una de ellas es el estándar IEEE 802.22 WRAN¹⁸, el cual es el primer estándar mundial que utiliza técnicas de radio cognitivas en su arquitectura, y está orientado a utilizar de forma secundaria, canales no utilizados de la banda asignada a servicios de radiodifusión por televisión [24]. Asimismo, tenemos al 802.11af, evolución del estándar 802.11, el cual también busca introducir técnicas de radio cognitivas en su arquitectura [25]. Adicionalmente con la finalidad de brindar coexistencia entre diferentes sistemas de radio cognitiva, se tiene al estándar 802.19.1 [26].

Por otro lado, tenemos al LTE en espectro no licenciado (LTE-U), el cual utiliza el espectro no licenciado de las bandas 2.4 GHz y 5.8 GHz para su operación, necesitando para ello utilizar técnicas de sensado y uso compartido para coexistir con tecnologías que ya operan en dicha banda [27].

A continuación se presentara de manera resumida el funcionamiento de dichos estándares:

802.22 WRAN

IEEE 802.22 WRAN fue estandarizado de manera formal en el año 2011 [28], y tiene como objetivo brindar servicios de banda ancha fija inalámbrica y móvil a zonas rurales, utilizando las frecuencias asignadas al servicio de radiodifusión por televisión (54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz y 470-698 MHz), alcanzando radios de cobertura de entre 17 a 30 Km, de esta manera el estándar busca alcanzar coberturas a nivel regional. A nivel de arquitectura, es similar al estándar 802.16, sin embargo, añade un bloque de sensado (SSF: Spectrum Sensing Function) y administración del espectro (Spectrum Manager) tanto a nivel de radio base como a nivel de receptor de usuario, los cuales cumplen las funcionalidades de las radio cognitivas. Al igual que 802.16, soporta modulación adaptativa, de hasta 64 QAM¹⁹, utiliza OFDMA²⁰ como técnica de acceso al medio tanto en el sentido usuario- red como red-usuarios, sin embargo, solo opera en portadoras de anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz, dado que utiliza la canalización provista para los servicios de radiodifusión por televisión [24].

¹⁸ Wireless Regional Area Networks

¹⁹ Quadrature Amplitude Modulation

²⁰ Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

Asimismo, opera en un modo de duplexaje TDD²¹ y puede alcanzar velocidad pico de hasta 22.69 Mbps. Es preciso indicar que la arquitectura del estándar 802.22 WRAN contempla un módulo de geolocalización, el cual tiene como objetivo ubicar geográficamente a los nodos receptores y en base a ello, indicar que bloques de frecuencias pueden utilizar de manera secundaria el espectro asignado a radiodifusión por televisión de acuerdo la zona geográfica en donde se encuentren y no interferir con otros sistemas [29].

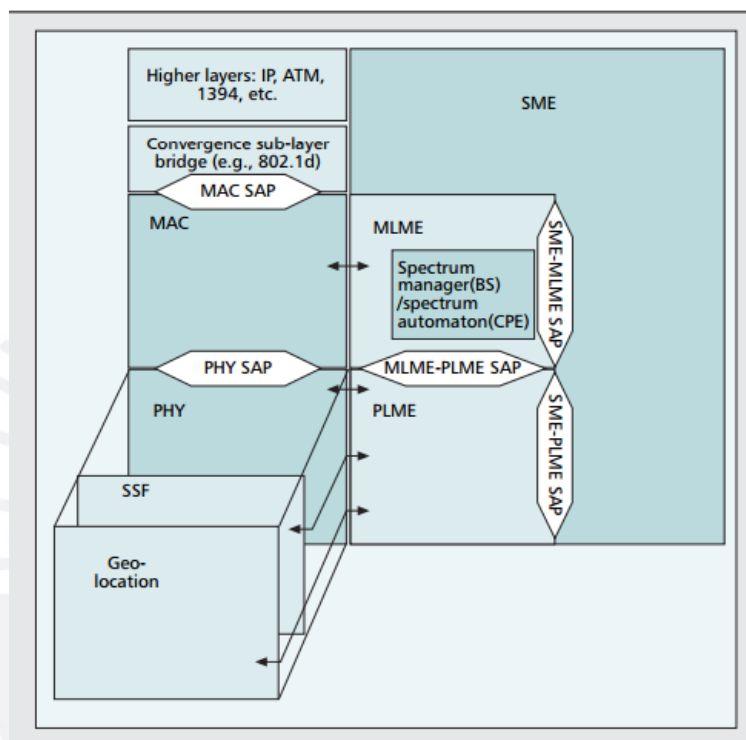


Figura 1.14.Arquitectura de referencia del estándar 802.22

Fuente: [24]

802.11af

En junio del año 2013, se publica el estándar 802.11af, el cual modifica la capa física y la capa de enlace del estándar 802.11 con la finalidad de cumplir con las exigencias regulatorias para la utilización de los Espacios en Blanco de Espectro en las bandas destinadas para el servicio de radiodifusión por televisión. El rango de cobertura de dicho estándar es de 100 metros a 1 Km, por lo que está orientado a redes locales inalámbricas. De manera similar al estándar 802.22, en la arquitectura general del estándar se cuenta con un nodo de geolocalización y administración de espectro, el cual permite que los receptores sepan que canales

²¹ Time Division Duplex

utilizar de forma secundaria y no interferir con usuarios primarios; sin embargo, no cuenta con funcionalidades de sensado del espectro, por lo que la asignación del espectro no utilizado es realizado de forma centralizada y mediante la consulta a una base de datos regional [25].

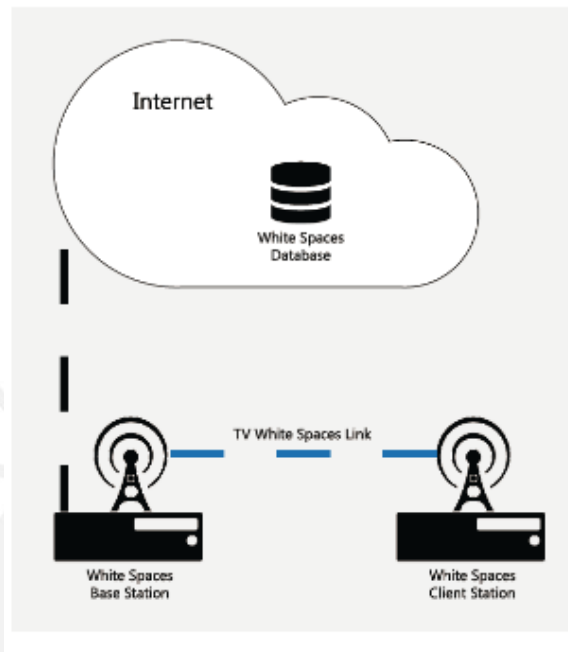


Figura 1.15. Arquitectura de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro utilizando tecnología 802.11af

Fuente: Microsoft

802.19.1

Los primeros estudios del estándar 802.19.1 surge en el año 2009, con el afán de brindar coexistencia entre diferentes sistemas de radio cognitivas (v.g. 802.22 y 802.11.af) en una misma banda de frecuencias. La versión final del estándar fue publicado en el año 2014, y cuenta con 3 bloques funcionales que permite que diferentes sistemas de radio cognitivas coexistan, los cuales son: i) Descubrimiento de sistemas de radio cognitivas, ii) Ajuste de parámetros de los sistemas de radio cognitivas para mejorar su rendimiento y iii) Provisión de una interface unificada entre los diferentes sistemas de radio cognitivas que coexistan en una misma banda de frecuencia En ese sentido, una vez que el estándar ha identificado que sistemas cognitivos operan en una misma banda, puede reconfigurar parámetros como potencia de transmisión, canales asignados, y sistema de asignación de canales no utilizados, con la finalidad de reducir al mínimo la interferencia co-canal entre los sistemas cognitivos coexistentes [26].

LTE en espectro no licenciado

LTE en espectro no licenciado es una característica de la tecnología LTE disponible a partir de la Release 10 del 3GPP, que permite utilizar el espectro no licenciado en la banda de 5.8 GHz como parte de las frecuencias de operación disponibles para la interfaz aire de dicha tecnología, necesitando de técnicas de sensado y uso compartido de espectro para coexistir de manera sostenida con una de las tecnologías que más utiliza la banda no licenciada, como es la tecnología 802.11 (WIFI) [27]. LTE en espectro no licenciado cuenta con las siguientes modalidades:

- LTE-U: Esta modalidad utiliza las bandas licenciadas como Bandas Primarias y las bandas no licenciadas como Bandas Secundarias. Cabe mencionar que las bandas licenciadas llevan los canales de control, por lo que son indispensables en esta modalidad [27].
- MuLTEfire: Esta modalidad utiliza solo Banda No Licenciadas, la cual lleva canales de control, señalización y datos, por lo que no es necesario el uso de banda licenciada [30].

Es preciso indicar que para la convivencia de LTE en bandas no licenciadas con el WIFI, el estándar 3GPP en la Release 10 define el uso de una técnica llamada Carrier Sensing Adaptive Transmission (CSAT) el cual permite sensar la utilización del canal por los nodos vecinos para escoger el canal con menor utilización y en caso no exista canal menos utilizado, permite la coexistencia de ambas tecnologías mediante técnicas en el dominio del tiempo como la incorporación de un ciclo de apagado y encendido de las portadoras de LTE y de WIFI en las small cell en donde se implemente esta solución. De esta manera, durante ciertos milisegundos, operaran las portadoras WIFI pero no la portadora LTE y viceversa. Este ciclo de trabajo se elige de forma adaptativa, en base al número de usuarios y nodos WIFI y LTE activos [27].

Asimismo, en la Release 13, el 3GPP define la técnica llamada Licensed Assisted Access (LAA), por la cual se debe escuchar el medio, es decir, se debe identificar si en la banda de operación no existe algún otra tecnología en ese momento operando, para luego utilizar el canal por algunos milisegundos definidos por la regulación de cada país, para luego liberar el canal y que pueda ser utilizado por otra tecnología [31].

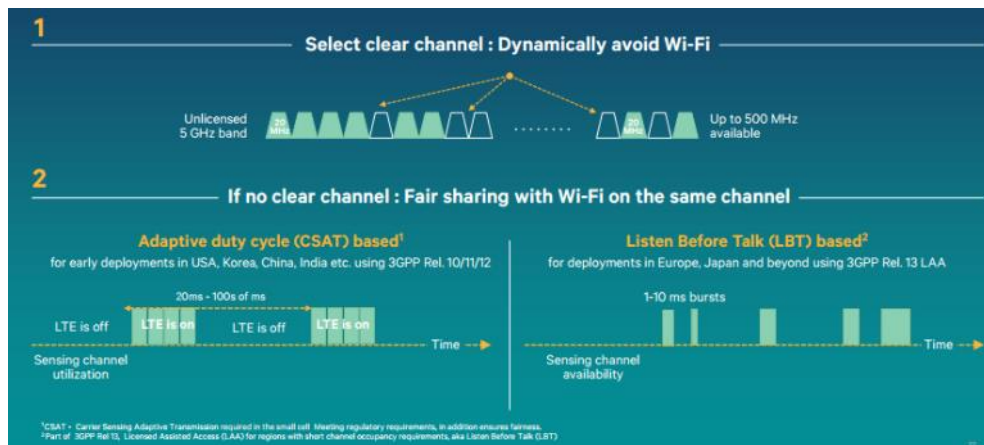


Figura 1.16. Esquemas de Coexistencia entre LTE-U y WIFI en banda de 5.8 GHz

Fuente: [31]



CAPITULO 2: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

2.1. Experiencia Peruana en uso compartido de espectro

Con respecto a los esquemas de compartición de espectro revisados en el capítulo 1, para el caso peruano, podemos mencionar los siguientes puntos relevantes:

- Con respecto al Roaming Nacional, la regulación peruana no hace referencia alguna a la permisibilidad expresa de esta modalidad o a la obligatoriedad de la misma por parte de los operadores móviles. Sin embargo, cabe mencionar que la misma no se encuentra prohibida expresamente, tal es así que existía un contrato de Roaming Nacional que data del año 1993 entre el operador Tele 2000, y la Empresa Nacional de Telecomunicaciones del Perú. Este contrato fue asumido posteriormente por Telefónica del Perú como consecuencia del proceso de privatización de las compañías estatales de telecomunicaciones que se dio el año 1994 [32]. De esta manera, Telefónica del Perú brindaría acceso a su red móvil a Tele 2000 en las provincias que se encuentren fuera de Lima y Callao [33]. Sin embargo, no se tiene alguna otra experiencia sobre el uso de esta modalidad por parte de otro operador móvil en el Perú.
- Con respecto a los OMV, de acuerdo con la Ley 30083 “Que establece medidas para fortalecer la competencia en el mercado de los servicios

públicos móviles”, se le exige a los Operadores Móviles con Red (OMR) a permitir el acceso a los OMV a su infraestructura a cambio de una contraprestación económica. Asimismo, en el Reglamento de la Ley 30083, aprobado mediante Decreto Supremo N°004-2015-MTC, se indica que en el caso los OMV no logren un acuerdo en el acceso a la infraestructura del operador de red, el OSIPTEL determinará un mandato de acceso. Por otro lado, mediante la Resolución N°009-2016-CD/OSIPTEL, el regulador estipula normas complementarias para precisar los puntos a considerarse para los acuerdos entre los OMR y los OMV y para los mandatos de acceso. A la fecha, se tiene un único OMV operando en el Perú el cual es Virgin Mobile Perú S.A., utilizando la infraestructura del operador Telefónica del Perú [34], no obstante se tiene conocimiento que Dolphin Telecom del Perú S.A.C. también cuenta con registro de OMV otorgado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aunque aún no cuenta con operaciones comerciales iniciadas²².

- Asimismo, en la Ley N°30083 también se contempla la figura de los operadores de infraestructura móvil rural (OIMR), los cuales son aquellos que brindan infraestructura civil y de radio acceso, así como el servicio de transporte de señales desde las radio bases hasta un punto de presencia, a los operadores de red en zonas rurales. Cabe indicar que los OIMR no cuentan con usuarios finales y para operar deben de inscribirse en el registro de operadores de infraestructura móvil rural. A febrero de 2017, existían 3 OIMR inscritos en el registro de Operadores de Infraestructura Móvil Rural exigido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Mayu Telecomunicaciones S.A.C y ANDESAT Perú S.A.C. y Moche Inversiones S.A.) [35]. Cabe indicar que a fines de enero de 2017, el OSIPTEL, a través de la Resolución N°156-2016-CD/OSIPTEL, publicó para comentarios un proyecto de normas complementarias que definen los puntos económicos y técnicos a considerarse en los acuerdos entre OIMR y OMR, proponiéndose que los OIMR y OMR negocien de forma privada las condiciones técnicas y económicas de sus contratos, pero, si en caso luego de 60 días calendario de iniciada las negociaciones no lleguen a un acuerdo, podrán solicitar un mandato de acceso al OSIPTEL [36]. Así, a

²² Registro de OMV, disponible en: https://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/registros/documentos/Movil_Virtual/OMV.pdf. Último acceso: 19 de mayo de 2017.

fines del mes de abril de 2017, se publicó la versión final de las normas complementarias de los OIMR, mediante Resolución N°059-2017-CD-OSIPTEL, en la cual es importante resaltar que se faculta a los OIMR brindar servicios en zonas urbanas y rurales con cobertura móvil de algún operador en caso posean un acuerdo previo con éste. No obstante, en dicha modalidad, no es obligatorio que los operadores de red contraten los servicios de los OIMR; mientras que en las zonas rurales y de interés social sin cobertura móvil, el uso de la infraestructura del OIMR es obligatoria por parte del operador de red, sin perjuicio de que éste último también pueda desplegar su propia infraestructura posteriormente [37].

- Con respecto a la compartición activa de infraestructura, la normativa actual no contempla la obligatoriedad de que los operadores móviles compartan su infraestructura activa ni tampoco la prohíbe expresamente. No obstante, mediante la Ley N° 28295, sólo se exige, que los operadores de telecomunicaciones compartan su infraestructura pasiva en caso exista una restricción a la construcción y/o instalación o falta de pronunciamiento de la autoridad. Por otro lado, a través del Decreto Legislativo N°1019 “Ley de acceso a la infraestructura de los proveedores importantes de los servicios públicos de telecomunicaciones”, se exige a los proveedores importantes de los servicios públicos de telecomunicaciones a compartir su infraestructura pasiva, sin embargo, para el mercado móvil, al cierre de la presente tesis, el regulador no ha encontrado algún operador móvil que cumpla con la definición de proveedor importante, por lo que en el mercado de servicios móviles ningún operador está obligado a compartir su infraestructura. Asimismo, no se conocen acuerdos privados entre operadores móviles de compartición de infraestructura activa en el mercado peruano, por lo que dicha modalidad no ha sido implementada a la fecha.
- Con respecto a la asignación dinámica del espectro en el Perú, dicho esquema no se encuentra reglamentado ni permitido, excepto para las bandas libres (bandas no licenciadas) estipuladas en el artículo 28 del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley de Telecomunicaciones. Para las bandas licenciadas, los contratos de concesión para brindar servicios móviles otorgan el derecho exclusivo a los operadores a utilizar el espectro radioeléctrico adjudicado de manera exclusiva, dentro del alcance geográfico de la concesión. Asimismo, no existe la figura de un mercado

secundario de espectro establecido expresamente con normas claras, por el cual los operadores puedan comercializar los bloques no utilizados de su espectro asignado a otros operadores que necesiten de este recurso escaso, sin necesidad de un concurso público. No obstante, de acuerdo al artículo 117 del Decreto Supremo N°20-2007-MTC por el cual se aprueba el Texto único ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones, se permite la transferencia de espectro, la cual implica la cesión total del uso de un segmento o la totalidad del espectro adjudicado a otros operadores, previa aprobación del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Asimismo, no se establece alguna normativa que permita el alquiler del espectro radioeléctrico.

En base a lo descrito anteriormente, se tiene que solamente el esquema de Operador Móvil Virtual (OMV) y de Operador de Infraestructura Móvil Rural (OIMR) ha sido reglamentado en nuestro país, por lo se considera pertinente revisar las experiencias internacionales de aquellas modalidades de compartición de espectro que no hayan sido implementadas de manera efectiva en el Perú, con la finalidad de conocer con mayor detalle sobre la implementación de las mismas en diferentes lugares del mundo. De esta forma, la revisión internacional de la compartición activa de infraestructura con espectro compartido (modalidad MOCN), el Roaming Nacional y la asignación dinámica de espectro serán descritas a continuación:

2.2. Experiencia Internacional

2.2.1. Uso compartido de infraestructura móvil activa con espectro compartido (modalidad MOCN)

2.2.1.1. Dinamarca

En el año 2012, los operadores Teliasonera y Telenor realizaron un acuerdo de uso compartido activo de infraestructura a nivel nacional en la modalidad MOCN para el despliegue de la red LTE en la banda de 800 MHz. Cabe indicar que, dicho acuerdo se produce como resultado de un *Joint Venture* entre ambos operadores para concursar por el espectro de dicha banda. Para ello, los operadores conformaron la compañía TT-Network y se hicieron ganadores de 20 MHz en dicha banda. Dicha porción de espectro será compartida por ambos operadores [38] .

Cabe mencionar que la autoridad de competencia de Dinamarca, aceptó que ambos operadores participen de manera conjunta en el concurso de la Banda de 800 MHz, con las siguientes condiciones [39]:

- Aceptar solicitudes de clientes mayoristas para proveer servicios móviles de voz y datos en condiciones no discriminatorias
- Los usuarios mayoristas pagarían a la compañía (TT-Network) por la prestación de la capacidad de radio en base a una tarifa orientada a costos.
- En el futuro, las empresas estarán obligadas a concursar de manera conjunta por bloques de espectro.
- Vender o alquilar las estaciones base, en caso se tenga capacidad ociosa, a cualquier entidad interesada del mercado.

2.2.1.2. Finlandia

Las bases de la licitación de la banda de 800 MHz en Finlandia permiten el uso compartido activo de infraestructura y el uso compartido de espectro siempre y cuando el operador previamente haya desplegado infraestructura propia que permita cumplir al menos con el 35% de sus obligaciones de cobertura. En ese sentido, los operadores DNA y TeliaSonera Finland acordaron compartir tanto la infraestructura activa como el espectro, para cumplir con las obligaciones de cobertura adquiridas en la subasta de 800 MHz (99% de la población cubierta para el año 2018) [40] en la cual se desplegó tecnología LTE. Dicho acuerdo comprende a las zonas ubicadas en el norte y este de Finlandia (zonas mayormente rurales), en donde se encuentran el 50% del territorio y el 15% de la población [39].

2.2.1.3. Polonia

En junio de 2011, los operadores polacos T-Mobile Poland y Orange Poland firmaron un acuerdo de uso compartido de infraestructura activa por 15 años, en donde se compartirá también el espectro de las bandas de 900 MHz y 1800 MHz (bandas para el despliegue de LTE). Para ello dichos operadores constituyeron un Joint Venture llamado "NetWorks" y con ello buscan reducir los costos en el despliegue de sus redes [39].

2.2.1.4. Suecia

En la subasta 3G de la banda 2.1 GHz del año 2000, el operador TeliaSonera no ganó bloque de espectro alguno, sin embargo, realizó un *Joint Venture* con el operador Tele 2, que sí ganó espectro en dicha banda para el despliegue de una red 3G, compartiendo la infraestructura activa y utilizando el espectro ganado por el operador Tele 2 por ambos. El *joint venture* creado por dichos operadores se llama *Svenska UMTS Nät AB* (SUNAB) [41].

Por otro lado, en el año 2009, los operadores Telenor y Tele 2 realizaron un Joint Venture para participar en la subasta de la banda de 800 MHz [41]. El Joint Venture llamado "Net4Mobility", se adjudicó 10 +10 MHz en dicha banda, así como un bloque de espectro de 10 +10 MHz en la banda de 1800 MHz en la subasta de dicha banda en el año 2011 [42]. En ambos casos, los operadores comparten la infraestructura activa y el espectro adjudicado [39].

2.2.1.5. Australia

En el año 2004, el operador Telstra firmó un acuerdo de uso compartido de infraestructura con el operador Hutchinson 3G Australia. Dicho acuerdo comprendía utilizar la ya desplegada red de acceso 3G y el espectro del operador Hutchinson 3G, por parte del operador Telstra por un monto de USD 450 Millones. Mediante dicho acuerdo, Telstra será dueño del 50% de la red de acceso 3G del operador Hutchinson [43] [44].

2.2.1.6. Brasil

Brasil es el único país en Latinoamérica en el cual se implementa de manera efectiva el uso compartido activo de infraestructura en la modalidad MOCN (RAN Sharing con espectro compartido). Dicho país posee 2 grandes acuerdos de uso compartido de infraestructura activa: TIM - Oi y Vivo – Claro [45].

Con respecto al acuerdo entre Vivo y Claro [45]:

- Llegaron a un acuerdo de uso compartido de infraestructura pasiva, activa y de espectro con la finalidad de cumplir con las exigencias de cobertura puestas en la subasta de la banda 2.6 GHz y 450 MHz, bandas orientada a desplegar tecnología LTE.
- Cabe indicar que para el cumplimiento de las exigencias de cobertura, el contrato de dichas bandas estipula que es potestad de

la empresa elegir si cumplirá dichas obligaciones utilizando la banda 2.6 GHz, 450 MHz, u otra banda si lo considera pertinente, previa opinión favorable del regulador.

- En ese sentido, Vivo y Claro comparten 93 sitios (todos en zonas rurales), en las bandas de 850 MHz y 2.1 GHz que ya habían sido desplegados por los operadores.

Con respecto al acuerdo entre TIM y Oi [45]:

- En el año 2013, los operadores TIM y OI acordaron compartir infraestructura activa, sin uso compartido de espectro, para sus redes 4G-LTE en la banda de 2.6 GHz.
- Adicionalmente, a fines del año 2015, el operador Vivo se unió al acuerdo de uso compartido de infraestructura para la red LTE de los operadores TIM y Oi [46].
- Asimismo, Tim y Oi acordaron compartir espectro para brindar servicios 2G y 3G a municipalidades con menos de 30 000 habitantes.

2.2.1.7. México

En febrero de 2016, el gobierno mexicano publicó las bases del proyecto “Red Compartida” la cual se basa en el despliegue de una red de banda ancha móvil con tecnología LTE o superior, que brinde servicios mayoristas utilizando 90 MHz de la banda de 700 MHz en configuración APT²³ (45 + 45 MHz) por un lapso de 20 años [47].

De acuerdo con las especificaciones técnicas de las bases del proyecto, el operador que gane dicho proyecto deberá ofrecer de manera desagregada cualquier servicio y/o nodo de red de forma compartida. Asimismo, se exige que la red pueda contemplar la incorporación de facilidades y funcionalidades de calidad de servicio y priorización dinámica de tráfico, con el fin de atender las necesidades de servicios especializados como Seguridad Pública, protección civil, salud y transporte, entre otros [48]. Dado los requerimientos de las bases del proyecto, la red a desplegarse se basaría en un esquema de compartición de infraestructura activa con espectro compartido (modalidad MOCN) para todo aquel operador de

²³ Asia-Pacific Telecommunity

telecomunicaciones que desee contratar servicios al operador mayorista, así como en la modalidad OMV para nuevos operadores y Roaming Nacional para operadores que deseen ampliar su cobertura en base a los parámetros de calidad del operador mayorista.

Cabe indicar que en noviembre de 2016, el consorcio Axtel-Megacable resultó ganador del proyecto, al ofrecer una cobertura poblacional de 92.2%. Asimismo, el consorcio ganador se comprometió a alcanzar una cobertura poblacional del 30% para el 2018, 50% al tercer año de firmado el contrato, 70% al cuarto año, 85% al quinto año y 92.2% al séptimo año [49].

2.2.1.8. EEUU –Firstnet

A partir de los hechos ocurridos el 11 de Septiembre de 2001 en los Estados Unidos, el congreso de dicho país aprobó la necesidad de contar con una red de telecomunicaciones dedicada para situaciones de emergencia, cuya construcción sería financiada por el gobierno y debería buscar ser auto-sostenible en el tiempo [50]. De esta manera, luego de largas deliberaciones, en el año 2012 el congreso americano dispone la creación de la First Responder Network Authority, una agencia federal que engloba tanto al gobierno como al sector privado en su junta de directores, con la finalidad de que esta institución sea la encargada de administrar y supervisar el despliegue de la red de seguridad pública de los Estados Unidos, a desplegarse utilizando el bloque reservado de 20 MHz para este propósito en la banda de 700 MHz. Se estima que para la construcción de dicha red, se invertirá alrededor de 7000 Millones de dólares [51].

Para el auto sostenimiento del proyecto, la red de seguridad pública podrá compartir su capacidad y arrendarla a operadores móviles que necesiten capacidad, por lo que se compartiría el espectro y la red de radio acceso LTE a desplegarse cuando no esté siendo usada [52]. De acuerdo con la información disponible en el sitio web de FisrtNet, el proceso para adjudicarse el proyecto programado para noviembre de 2016, ha sido pospuesto, dado que la First Responder Network Authority estimó necesario ampliar el tiempo de análisis y de recepción de comentarios para establecer las condiciones para el proceso [53].

2.2.2. Experiencia en la reglamentación de Roaming Nacional

2.2.2.1. Estados Unidos

En el año 2007, la Federal Communications Commission (FCC), ente regulador de las telecomunicaciones de los Estados Unidos, aprueba la regulación por la que se permite el Roaming Nacional de voz, servicios troncalizados y mensajes de texto, con la restricción de que se permitirá solamente en aquellas zonas en donde el operador que requiere el Roaming Nacional no cuente con concesión de espectro. En el año 2010, la FCC eliminó dicha restricción, permitiendo que el operador que requiera de roaming pueda acceder a dicha facilidad aún teniendo concesión de espectro en la zona solicitada. Luego, en el año 2011, la FCC permitió el roaming de los servicios móviles de datos [54].

2.2.2.2. Europa

Existen algunos países europeos que cuentan con regulación que exige a los operadores con poder significativo de mercado, ofrecer el Roaming Nacional de forma no discriminatoria a sus competidores. Entre estos países tenemos a Macedonia y Chipre. Asimismo, en algunos países como en la República Checa, Lituania, Rumania, se exige el Roaming Nacional como parte de las obligaciones a cumplir por los operadores que ganen los concursos de espectro. En el caso de República Checa, se exigió que el operador que gane al menos 5 + 5 MHz en la banda de 800 MHz deberán brindar Roaming Nacional a aquellos operadores que no hayan ganado bloques en la banda de 800 MHz ni tengan espectro en la banda de 900 MHz. En Lituania, los concesionarios de la banda de 2.1 GHz (banda 3G) están obligados a brindar el Roaming Nacional [55]. En Eslovaquia, los operadores que ganaron los concursos de las bandas de 800 MHz, 2.6 GHz y 1.8 GHz deben ofrecer Roaming Nacional a operadores que no cuenten con bandas bajas (800MHz o 900 MHz) siempre y cuando los operadores que solicitan el Roaming cuenten con cobertura móvil con infraestructura propia que cubra al menos el 20% de la población [56].

2.2.2.3. Latinoamérica

Desde el año 2012, el regulador brasileño de telecomunicaciones, ANATEL, a través de la resolución N°600 del 8 de noviembre, exige a los operadores con poder significativo de mercado a brindar acceso al Roaming Nacional a

operadores que no cuenten con licencia en las zonas donde soliciten el acceso y el operador con poder significativo de mercado sí [57].

En el año 2013, la Comisión de Regulación de Comunicaciones de Colombia, por medio de la resolución 4112 de ese año, permitió el uso del Roaming Nacional entre operadores móviles para la provisión de servicios de voz, datos y mensajes de texto en aquellas áreas en donde el operador solicitante no cuente con cobertura. En el año 2014, el regulador ecuatoriano CONATEL, a través de la resolución TEL-628-20-CONATEL-2014 [58], aprobó el uso del Roaming Nacional para todos los operadores móviles, indicando que el acceso al mismo se daría de forma no discriminatoria [57].

También en el año 2014, en México, el Instituto Federal de Telecomunicaciones obligó al operador con poder significativo de mercado (Grupo Carso: Telmex, Telcel, entre otras filiales) que ofrezca Roaming Nacional a los demás operadores móviles. Por otro lado, tanto Argentina como Chile exigen que los operadores que ganaron el concurso de la banda AWS y 700 MHz respectivamente, ofrezcan el Roaming Nacional a operadores entrantes en dichas bandas [57].

2.2.3. Experiencia de uso de uso compartido de espectro mediante el uso de técnicas de radio cognitivas y asignación dinámica del espectro

2.2.3.1. EEUU

En el año 2003, el Grupo Especial de Políticas de Espectro de la Federal Communications Commission (FCC), ente regulador de las telecomunicaciones de los Estados Unidos, realizó un estudio sobre el uso eficiente del espectro radioeléctrico en dicho país. En particular, el estudio mostro los resultados de las mediciones realizadas para las bandas inferiores a 1 GHz en la ciudad de Atlanta, Nueva Orleans y San Diego. De esta manera, se observó que las bandas más alejadas a 1 GHz tienen menor utilización que las bandas más cercanas a 1 GHz, además que las frecuencias, en la mayoría del tiempo, no son utilizadas, es decir existirían diversos Espacios en Blanco de Espectro en bloques inferiores a 1 GHz [59].

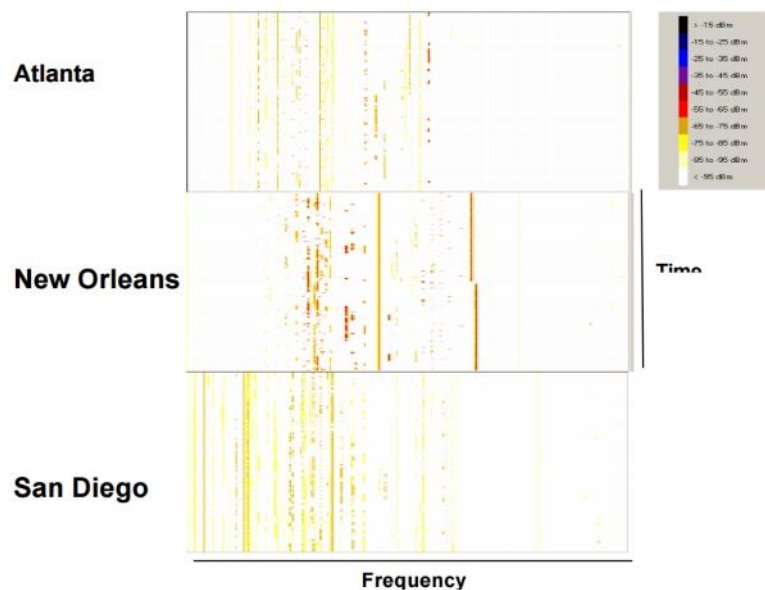


Figura 2.1. Nivel de ocupación de bloque de espectro de 7.5 MHz en la banda UHF en las ciudades de Atlanta, Nueva Orleans y San Diego.

Fuente: FCC

En base a dichas mediciones, el grupo recomendó a la FCC establecer mecanismos y políticas que permitan mejorar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, es decir, permitir el uso de servicios secundarios en bandas licenciadas pero no utilizadas o subutilizadas, entre otras recomendaciones [59].

De esta manera, en el año 2003, la FCC propone una regulación que permita el uso de radio cognitivas en zonas rurales, en bandas no licenciadas (v.g. Banda ISM 2400-2483.5 MHz, banda 5.8 GHz, banda 902-928 MHz [60]), con la finalidad de incrementar el uso eficiente del espectro en dichas zonas [61]. En el año 2005, la FCC publica la versión final de dicha norma, por lo cual se acepta la utilización de radios cognitivas basadas en técnicas de SDR en dicho país, permitiendo que en bandas no licenciadas, se pueda operar con mayores niveles de potencia gracias a la utilización de técnicas de radio cognitivas (bloques de sensado de espectro y geolocalización) [62].

Asimismo, en el año 2006, la FCC aprueba el uso de los Espacios en Blanco de Espectro disponibles en la banda asignada para servicios de

radiodifusión por televisión, para el uso de servicios secundarios fijos (v.g. Servicio de Internet Fijo Inalámbrico”) [63]. Asimismo, en el año 2008, la FCC modifica dicha resolución, incorporando entre otros temas, la permisibilidad de brindar servicios móviles de forma secundaria en dicha banda y define dos mecanismos para identificación y toma de canal libre y la evasión de interferencia entre los servicios secundarios y los servicios primarios, los cuales son: i) mecanismo basado en geolocalización y acceso a base de datos centralizada y ii) mecanismo basado en sensado del espectro [64].

Dicha regulación exige que para el mecanismo basado en geolocalización, las transmisores y los receptores sean identificados con una exactitud de +/- 50 metros. Asimismo, las bases de datos de canales utilizados y no utilizados deben de contar con dicha información georeferenciada, así como con la lista de canales disponibles por zonas geográficas, información sobre las potencias efectivas radiadas de las transmisoras, la altura de la antena, el canal de transmisión, entre otros parámetros [64].

Con respecto al mecanismo basado en sensado del espectro, se exige que cumplan con los siguientes niveles de detección: -114dbm en canales de 6 MHz para señales del tipo ATSC, -114 dBm en canales de 100 KHz para señales NTSC y -114 dBm en canales de 200 KHz para señales de micrófonos inalámbricos, todas estas operando en la bandas 512 a 698 MHz [64].

Es preciso indicar que se detectaron problemas con el mecanismo de sólo sensado del espectro. En particular se presentaba el problema llamado “terminal escondido”. Este problema se basa en la siguiente situación: cuando un obstáculo se encuentra entre el transmisor del sistema primario (transmisor de radiodifusión) y un dispositivo secundario, éste último no podrá detectar la señal del transmisor primario y utilizará el canal asignado al primero, asumiendo erróneamente que el canal se encuentra libre, resultando en interferencia a los usuarios del servicio primario. Asimismo, se evidenció problemas con la detección de los sistemas de micrófonos inalámbricos que operan en dicha banda utilizando el mecanismo de sensado del espectro además de que los niveles de detección establecidos para las señales de radiodifusión en la regulación del año 2008, hacían que prácticamente no se pueda asignar canales de radiodifusión de forma

secundaria en una gran extensión geográfica, haciendo no factible en la práctica el esquema de utilización secundaria del espectro [65].

Es así que en el año 2010, la FCC elimina la necesidad de que los dispositivos que utilizan de manera secundaria los Espacios en Blanco de Espectro en las banda de TV sensen el espectro antes de operar, exigiendo solamente el mecanismo basado en bases de datos centralizadas y geolocalización [66]. De esta manera, el mecanismo basado en geolocalización y acceso a base de datos centralizado es el más usado en los Estados Unidos, debido a los problemas que presenta el mecanismo basado sólo en sensado del espectro. En efecto, actualmente existen 10 proveedores de base de datos destinados a operar la administración de los Espacios en Blanco de Espectro, entre los cuales tenemos a Google, Iconectiv, Spectrum Brigde, entre otros [67].

Por otro lado, en el año 2015, la FCC atribuye la banda 3550 -3700 MHz para el uso compartido de espectro, bajo un modelo de 3 niveles de acceso al recurso escaso, gobernado por un sistema de asignación dinámica de espectro similar al utilizado para la asignación de los Espacios en Blanco de Espectro en la banda de radiodifusión por televisión. Así, el primer nivel está orientado a brindar acceso a los incumbentes, es decir, a los agentes que cuentan con autorización federal para el uso de dicha banda (v.g. agentes que utilizan la banda para brindar servicios fijos por satélite), estos servicios serán protegidos contra interferencia perjudicial y tendrán la mayor prioridad de uso. El segundo nivel de acceso, es el nivel de acceso prioritario (priority access), por el cual, en la porción del espectro entre 3550 a 3650 MHz, se licitara para el uso de esta banda en canalizaciones de 10 MHz, por una duración de 3 años, en donde se espera que en esta modalidad los operadores móviles lo utilicen para desplegar small cells²⁴. Por último, el tercer nivel, se trata del acceso general a la banda de manera oportunista, es decir, cuando algún bloque de frecuencia no esté en uso por los usuarios incumbentes o prioritarios de la banda [68]. De esta manera, la FCC busca brindar opciones para continuar con la innovación en la industria móvil, utilizando técnicas de uso compartido de espectro.

²⁴ Estaciones bases de baja potencia de transmisión, destinadas a brindar cobertura y capacidad en zonas de alta densidad de usuarios.

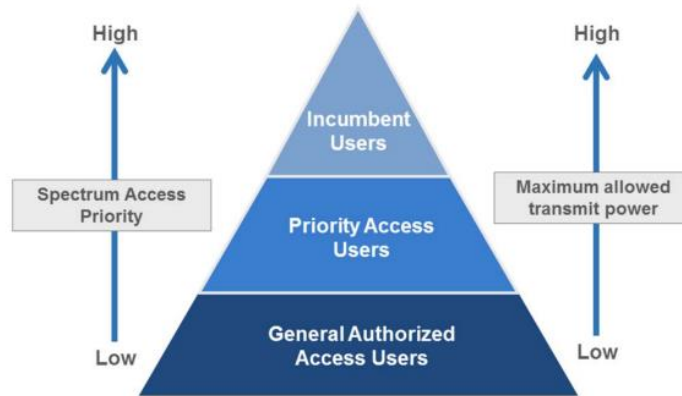


Figura 2.2. Niveles de acceso a la banda de 3.5 GHz en los Estados Unidos

Fuente: [69]

2.2.3.2. Unión Europea

A nivel europeo no existe una regulación de nivel general para el uso de los Espacios en Blanco de Espectro, pero sí diferentes documentos técnicos que buscan ser referencia para los reguladores de cada país a la hora de establecer reglamentaciones específicas sobre el uso compartido del espectro.

En el año 2011, la comisión de comunicaciones electrónicas (ECC por sus siglas en inglés, Electronic Communications Committee) publicó un reporte sobre los requerimientos técnicos y operaciones para el uso de sistemas de radio cognitivas en los Espacios en Blanco de Espectro de las bandas destinadas al servicio de radiodifusión por televisión en Europa (470-790 MHz) [70]. El reporte concluye que un mecanismo de solo sensado del espectro no es suficientemente confiable para garantizar la protección ante interferencias perjudiciales a los servicios de televisión con respecto a los servicios secundarios que operarían en dicha banda, por lo que el despliegue de bases de datos centralizadas que contengan los canales disponibles para el uso secundario de espectro son necesarios [71].

Asimismo, en el año 2013, se publicó un reporte por el cual se definen los principios generales con los que deben contar las bases de datos de disponibilidad de espectro (WSDB, por sus siglas en inglés White Space Data Base), los cuales serían: i) Precisión en ubicación georeferenciada de dispositivos terminales y transmisores, ii) Administración de la base de datos iii) bloqueo de sensado y consulta de base de datos, entre otros [71].

Por otro lado, con respecto al uso compartido de espectro licenciado para servicios móviles, la ECC ha definido dos propuestas que buscan compartir el espectro tanto en el dominio del tiempo como en el dominio geográfico, estas son la modalidad Licensed Shared Access (LSA) y Collective Use of Spectrum (CUS). En la primera modalidad, un operador que cuente con espectro asignado para servicios móviles, podría establecer acuerdos con otro operador móvil para que pueda utilizar parte de su espectro en zonas específicas previo acuerdo comercial entre ellos y aceptación del organismo regulador [72]. Para esto, el operador deberá realizar ligeras adecuaciones en la parte más alta de la arquitectura de su red, como por ejemplo, implementar una base de datos que permita contar con la distribución y asignación de su espectro y un gestor que permita administrar y brindar los permisos necesarios de acuerdo a los acuerdos comerciales acordados con los operadores que utilizaran de manera compartida el espectro [73]. En la segunda modalidad, el CUS, permite que un número ilimitado de usuarios en un área geográfica determinada utilicen el espectro al mismo tiempo, bajo condiciones definidas de potencia, interferencia, ciclo de trabajo, coordinación entre terminales de usuarios, etc. Esta modalidad es similar al uso de las bandas no licenciadas, las cuales son utilizadas de manera libre por diferentes tecnologías y usuarios, con ciertas restricciones de uso (v.g límites de potencia máxima) [72].

2.2.3.3. Reino Unido

En el año 2006, el regulador de las telecomunicaciones del Reino Unido, la OFCOM, publicó un documento de consulta pública por el cual se busca opiniones sobre la utilización de los bloques de frecuencias que quedarían libres producto de la transición de TV Analógica a TV Digital en el Reino Unido. Asimismo, realizó consultas sobre la permisibilidad de la utilización de dispositivos que de forma secundaria utilicen el espectro destinado para el servicio de radiodifusión por televisión para otro servicio. En ese sentido, en el año 2009, OFCOM publica los primeros requerimientos técnicos para el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas para el servicio de radiodifusión por televisión, entre ellos, se exige que los sistemas que utilicen los Espacios en Blanco de Espectro deberán ser capaces de sensar las bandas de frecuencias para servicios de televisión y encontrar los bloques no utilizados del espectro y/o deberán implementar una solución que permita consultar a una base de datos maestra en donde se encuentre los canales disponibles por localidad [71].

Cabe indicar que OFCOM clasifica a los dispositivos que utilizan los Espacios en Blanco de Espectro en 2 categorías, a saber, dispositivos maestros y dispositivos esclavos. Los equipos “maestro” reciben directamente información de la base de datos centralizada sobre la disponibilidad de canales, mientras que los equipos esclavos reciben información de los canales disponibles desde los dispositivos maestros, no directamente de la base de datos centralizada [71]. Es importante hacer notar que hasta dicha fecha, el OFCOM solo dictaba recomendaciones a niveles técnicos, esto es, no existía hasta esa fecha una regulación sobre el acceso a los Espacios en Blanco de Espectro.

Sin embargo, en el año 2015, OFCOM publica a nivel de regulación, la permisibilidad y los requerimientos técnicos del uso de los Espacios en Blanco de Espectro [74]. El modelo de arquitectura de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro permitida por OFCOM se presenta en la siguiente figura:

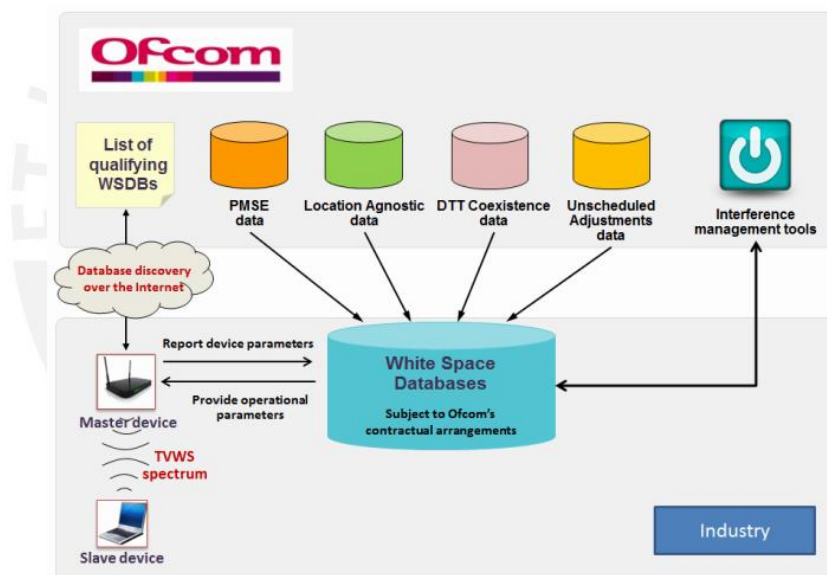


Figura 2.3. Esquema de acceso a Espacios en Blanco de Espectro en Reino Unido

Fuente: OFCOM

Como se puede apreciar en la figura anterior, el esquema de acceso a Espacios en Blanco de Espectro en el Reino Unido contempla el despliegue de una base de datos centralizada que administrará y asignará los bloques de espectro subutilizado. Cabe indicar que actualmente, existen diversos operadores de base de datos para el acceso a Espacios en Blanco de Espectro en el Reino Unido, tales como Fair spectrum, Nominet, Sony Europe, Spectrum Bridge, entre otros [75].

2.2.3.4. Singapur

En el año 2012, se estableció el grupo piloto que evaluaría el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en dicho país, bajo la jurisdicción del regulador de telecomunicaciones de dicho país, "IDA"²⁵. Asimismo en el año 2014, la IDA publicó una regulación marco sobre el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en la banda asignada a los servicios de radiodifusión por televisión, en donde se resalta que los dispositivos que utilizan de manera secundaria dicho espectro deben de presentar una potencia no mayor a -115 dBm en el borde de cobertura, con la finalidad de reducir al mínimo las interferencias en zonas fronterizas con Malasia. Cabe señalar que la regulación de Singapur, introduce la habilitación de una canal especial llamada "High Priority Chanel (HPC)", con el cual se busca que se pueda asignar diferentes calidades de servicio a los dispositivos que utilizan los White Space, dicho canal está siendo investigado por el IDA para ser utilizado en los diferentes dispositivos que utilizan los Espacios en Blanco de Espectro de manera efectiva [71].

2.2.3.5. Malasia

En [76], se presenta un estudio realizado por el Malaysian Communications Multimedia Comission (MCMC) ente administrador del espectro en Malasia, por el cual se muestra el grado de utilización del espectro en la banda comprendida entre 54 a 862 MHz en las ciudades de Johon Bahhru, Kuala Lumpur, Penang y Alor Setar. Las mediciones indicaron un grado de utilización del espectro de menos del 50%.

²⁵ Infocomm Development Authority

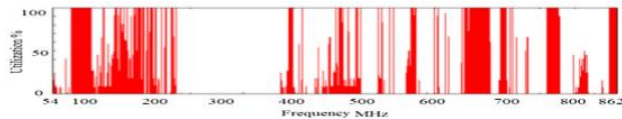


Figure 7. Spectrum utilisation for Kuala Lumpur (54-862 MHz) [41].

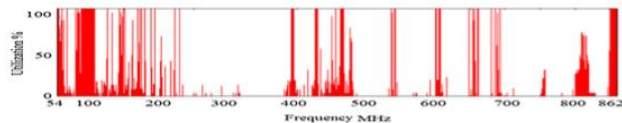


Figure 8. Spectrum utilisation for Penang (54-862 MHz) [41].

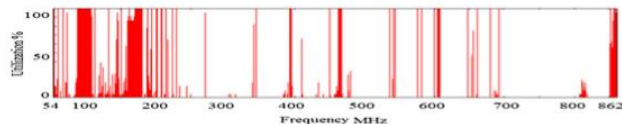


Figure 9. Spectrum utilisation for Alor Setar (54-862 MHz) [41].

Figura 2.4. Utilización del espectro medido por MCMC

Fuente: [76]

También en [76], se presenta un estudio realizado en la universidad Teknologi Malaysia (UTM), por el cual se midió durante 24 horas, el grado de utilización del espectro de la banda comprendida entre 470 a 798 MHz, en la ciudad de Johor Bahru, obteniéndose que las bandas más bajas se encuentran con mayor grado de ocupación que las bandas altas, no obstante, el grado promedio de utilización es de 18.02%, considerando un nivel mínimo de -94 dBm para considerar que una porción del espectro está ocupada.

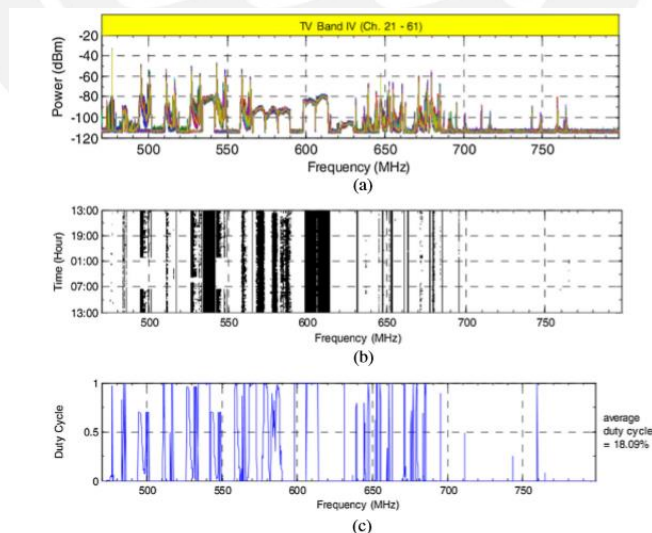


Figura 2.5. Utilización del espectro medido en la ciudad de Johor Baru, por la universidad de Teknologi Malaysia (UTM)

Fuente: [76]

Dada dichas mediciones, se tiene que gran parte del espectro de la banda asignada para radiodifusión en Malasia guarda un gran potencial para ser utilizada por sistemas de radio cognitivas, dado su bajo nivel de ocupación; sin embargo, aún no existe una regulación específica sobre el uso de Espacios en Blanco de Espectro en dicho país.

2.2.3.6. Argentina

En agosto del año 2016, ENACOM, ente regulador de telecomunicaciones de Argentina, firmó un convenio con Microsoft por el cual este último instalará un sistema de radio cognitiva utilizando la tecnología IEEE 802.22 en la banda UHF, específicamente utilizando los Espacios en Blanco de Espectro que se encuentran en la banda atribuida a servicios de televisión por televisión, en zonas rurales de Argentina [77]. Cabe indicar que Microsoft es uno de los proveedores de base de datos para sistemas de Espacios en Blanco de Espectro en los Estados Unidos.

2.2.3.7. Colombia

En mayo del 2016, el gobierno colombiano en conjunto con Microsoft, inauguró un proyecto piloto por el cual brindará conectividad de banda ancha a localidades rurales utilizando los Espacios en Blanco de Espectro de la banda atribuida para servicios de radiodifusión por Televisión [78].

2.2.3.8. Dynamic Spectrum Alliance

El Dynamic Spectrum Alliance²⁶ es una organización global que tiene como objetivo crear un marco regulatorio que facilite la implementación de la asignación dinámica del espectro, con la finalidad de lograr un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. Entre los principales miembros de esta organización se tiene a Google Inc, Facebook, Microsoft, IEEE, Broadcom, entre otros. Asimismo, es importante mencionar que dicha organización cuenta con propuestas de regulaciones marco sobre el uso de Espacios en Blanco de Espectro [79]. Asimismo, el Dynamic Spectrum Alliance indica que dada los nuevos requerimientos hacia redes móviles de quinta generación, el modelo tradicional de asignación de espectro basado en un ecosistema 3GPP, es decir, de asignación estática y de uso exclusivo del recurso escaso, tiene que migrar hacia una esquema que contemple también el uso compartido, toda vez que este último esquema coadyuva a alcanzar una mayor eficiencia de uso del espectro, al permitir el uso del

²⁶ Sitio web: <http://dynamicspectrumalliance.org/>

espectro cuando este se encuentre no utilizado o subutilizado a diferencia del derecho de uso exclusivo, que aun cuando no se encuentre utilizado o se encuentre subutilizado, el recurso escaso no es factible de ser utilizado [80].

2.3. Resumen e ideas claves

De la revisión internacional vista en el presente capítulo, se ha identificado diversos aspectos en común de las alternativas tecnológicas implementadas en otros países. En efecto, con respecto al Roaming Nacional, se tiene que en diversos países de la región, los reguladores han exigido dicha alternativa de compartición de espectro y de infraestructura en los concursos de espectro radioeléctrico y a los operadores con poder significativo de mercado, con la finalidad de incentivar la competencia al brindar facilidad a los operadores entrantes de acceder al Roaming. Asimismo, tenemos que, para el caso de los Estados Unidos, el Roaming Nacional es exigido por la FCC tanto para el servicio de voz y de datos a todos los operadores. Así, dicha regulación establece que los operadores negociarían el contrato de Roaming Nacional libremente, y en caso no exista consenso, el regulador servirá de mediador entre ambas partes. Cabe indicar que la política de Roaming Nacional es altamente atractivo para los operadores en los Estados Unidos, toda vez que las licencias de espectro no son asignadas a nivel nacional, sino a nivel regional o por ciudad, permitiendo que los operadores puedan ampliar su cobertura.

Para el caso de la compartición activa de infraestructura con espectro compartido, la experiencia internacional muestra que son los países de Europa Occidental, en especial los países nórdicos, los cuales han implementado dicha alternativa tecnológica con mayor preponderancia. Asimismo, dicha modalidad tecnológica no es exigida por el regulador de dichos países, sin embargo, los acuerdos de compartición activa con espectro compartido tienen que ser aprobados por el regulador y en ciertos casos, el regulador establece condiciones adicionales para permitir dichos acuerdos. Cabe indicar que el único país en la región que ha implementado dicha modalidad de compartición de espectro y de infraestructura es Brasil, en donde, de manera similar a Europa, Anatel (regulador de telecomunicaciones brasileño), analizó y aprobó dicha modalidad tecnológica entre operadores.

Cabe indicar que de los casos revisados, la gran mayoría de la compartición de infraestructura con espectro compartido (modalidad MOCN) se ha dado en despliegues nuevo de infraestructura a excepción del caso Australiano, en donde el

operador Hutchinson ya contaba con un red 3G desplegada y el operador Telstra accedió a su infraestructura activa y a su espectro 3G.

Con respecto a la asignación dinámica de espectro, se tiene a los Estados Unidos como uno de los países más avanzados en la materia. Tal es así que para la banda de 3.5 GHz, han implementado un esquema de acceso de tres niveles al espectro, permitiendo que dicha banda sea compartida de manera dinámica, por usuarios primarios (incumbentes), usuarios secundarios (operadores móviles) y usuarios terciarios (usuarios no licenciados), utilizando para ellos un sistema de base de datos geo-referenciada que contenta la información de la asignación del espectro a nivel geográfico e información de parámetros de radiofrecuencia de los transmisores y receptores que utilizan dicho espectro. Asimismo, en los Estados Unidos de América se cuenta con regulaciones que permiten el uso secundario de los Espacios en Blanco de Espectro de las bandas atribuidas de manera primaria a los servicios de radiodifusión por televisión, en donde se estipula que es necesario desplegar una base datos centralizada que comande la asignación del espectro en dichas bandas.

Asimismo, Europa cuenta con la modalidad de asignación de espectro llamada Licensed Shared Access (LSA), que, al igual que el modelo norteamericano, permite que se utilice de manera secundaria una banda de frecuencias, en particular la banda de 2.3 GHz, para servicios móviles. El esquema LSA también necesita del despliegue de una base de datos centralizada, que administre las asignaciones primarias y secundarias de la banda de espectro compartida. Finalmente, cabe mencionar que la modalidad de acceso al espectro LSA no es mandatoria en la Unión Europea, sin embargo, países como Francia la vienen implementando en la banda de 2.3 GHz. Asimismo, el Reino Unido cuenta con un esquema de acceso al espectro de manera secundaria en las bandas atribuidas para servicios de radiodifusión que no estén siendo utilizadas (Espacios en Blanco de Espectro), el cual también contempla el despliegue de una base de datos centralizada que administre las asignaciones de espectro. A nivel regional, países como Colombia y Argentina vienen desarrollando proyectos pilotos de tecnologías llamadas "Super-Wifi" (v.g. 802.11af, 802.22), brindando servicios de banda ancha a comunidades rurales utilizando Espacios en Blanco de Espectro en las bandas VHF asignadas a radiodifusión por televisión, sin embargo, son proyectos de prueba y no se basan en alguna regulación específica que permita el uso comercial de tecnologías de asignación dinámica de espectro.

Finalmente, es importante mencionar el rol del Dynamic Spectrum Alliance como impulsor del establecimiento de la asignación dinámica del espectro radioeléctrico como herramienta de mejorar los niveles de eficiencia del uso del recurso escaso y como alternativa a las asignaciones de uso exclusivo del espectro actualmente utilizada de manera mayoritaria por los gobiernos. Cabe indicar que de acuerdo con el Dynamic Spectrum Alliance se necesitará adoptar el paradigma de asignación dinámica de espectro de manera conjunta con la asignación exclusiva, con la finalidad de coadyuvar al establecimiento de redes de quinta generación en donde es necesario el uso masivo del recurso escaso y el despliegue masivo de infraestructura móvil.

A manera de resumen, a continuación se presentan tablas que detallan las principales características encontradas en los países revisados del Roaming Nacional, Asignación Dinámica de espectro y Compartición activa de infraestructura móvil con espectro.

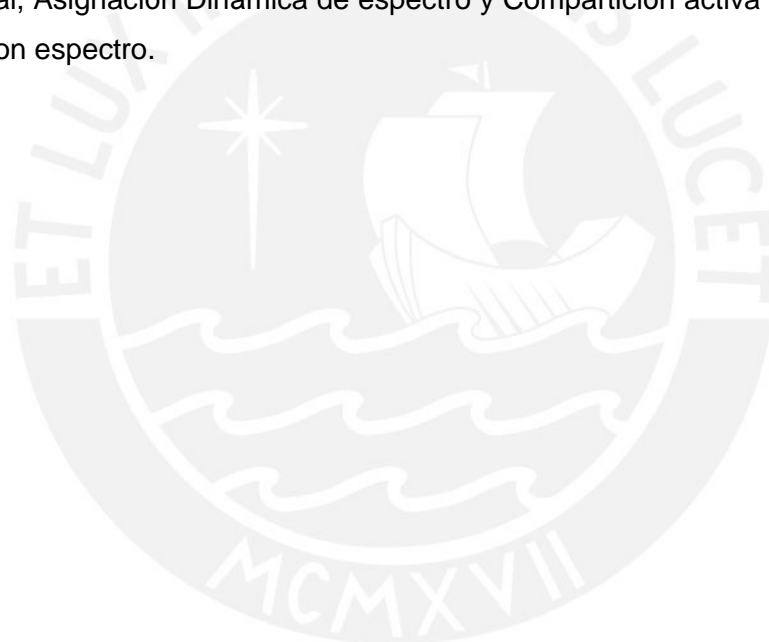


Tabla 2.1. Resumen de Experiencia Internacional del Roaming Nacional

País	¿Regulación obliga a brindar acceso a Roaming Nacional?	Operadores Obligados	Servicios	Zonas Atendidas	Otros
<i>EEUU</i>	Sí	Todos	Voz, datos y troncalizado	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada, aun cuando cuente con espectro asignado en dicha zona.	Debe existir facilidad técnica (adecuación en la red del operador que brinde el acceso sea económica y técnicamente factible). Debe existir compatibilidad tecnológica entre ambos operadores.
<i>Macedonia</i>	Sí	Poder Significativo de mercado	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada, aun cuando cuente con espectro asignado en dicha zona.	Debe existir facilidad técnica
<i>Chipre</i>	Sí	Poder Significativo de mercado	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada, aun cuando cuente con espectro asignado en dicha zona.	Debe existir facilidad técnica.
<i>República Checa</i>	Sí	Operadores que hayan ganado más de 5 + 5 MHz en la banda de 800 MHz	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada ni tenga concesión de espectro en la banda de 800 MHz.	Operadores que soliciten el acceso al Roaming Nacional no deben contar con espectro en la banda de 800 MHz ni 900 MHz.
<i>Lituania</i>	Sí	Operadores que hayan ganado espectro en la banda de 2.1 GHz	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada ni tenga concesión de espectro en la banda de 2,1 GHz.	Debe existir facilidad técnica
<i>Rumania</i>	Sí	Operadores que hayan ganado espectro en el concurso de espectro del año 2012, en donde se concursó espectro en la banda de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz.	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada y no sea ninguna de las 10 ciudades más importantes de Rumania.	Debe existir facilidad técnica

<i>Eslovaquia</i>	Sí	Operadores que hayan ganado espectro en la banda de 800 MHz.	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada.	Debe existir facilidad técnica y operador solicitante debe contar con infraestructura propia que brinde cobertura móvil a al menos el 20% de la población.
<i>Brasil</i>	Sí	Poder Significativo de mercado	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con licencia.	Debe existir facilidad técnica.
<i>Colombia</i>	Sí	Todos	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada.	Debe existir facilidad técnica. Operador que solicita Roaming debe entregar al operador que le brinda acceso el estimado del tráfico para el año siguiente de las zonas en donde accederá al Roaming Nacional.
<i>Ecuador</i>	Sí	Todos	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada.	Debe existir facilidad técnica.
<i>México</i>	Sí	Operador con poder significativo de mercado (TELCEL)	Voz, datos y SMS.	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada.	Debe existir facilidad técnica. Regulador interviene en caso de no existir acuerdo entre partes.
<i>Chile</i>	Sí	Operadores que hayan ganado espectro en la banda de 700 MHz.	Datos	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada ni posea espectro en la banda de 700 MHz.	Debe existir facilidad técnica.

Argentina	Sí	Operadores que hayan ganado espectro en la banda 1.7/2.1 GHz o 700 MHz.	Datos	Donde operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada ni posea espectro en la banda AWS.	Debe existir facilidad técnica.
-----------	----	---	-------	--	---------------------------------

Fuente: Cullen International, Información de Reguladores.



Tabla 2.2. Resumen de Experiencia Internacional del Compartición Activa de Infraestructura con espectro compartido

País	¿Regulación obliga a brindar compartición en modalidad MOCN?	Tecnologías	Banda de espectro compartido	Zonas Atendidas	Otros
<i>Dinamarca</i>	No	LTE	800 MHz (20 MHz)	Nacional	Regulador permitió la compartición del espectro en conjunción con la infraestructura activa, con condiciones específicas: obligo a operadores que realizaron acuerdo de compartición a brindar acceso a su infraestructura pasiva a otros operadores en caso cuente con capacidad ociosa.
<i>Finlandia</i>	No	LTE	800 MHz	Rurales	Ninguno
<i>Polonia</i>	No	LTE	900 MHz Y 1800 MHz	Nacional	Operadores entablaron acuerdo de compartición para desplegar en conjunto sus redes LTE.
<i>Suecia</i>	No	3G, LTE	2.1 GHz, 800 MHz (10 +10 MHz), 1800 MHz (10 +10MHz)	Nacional	Ninguno
<i>Australia</i>	No	3G	No disponible	Nacional	Los operadores que realizaron la compartición de espectro poseían cada uno el 50% de los activos de la red 3G.
<i>Brasil</i>	No	2G, 3G Y LTE	850 MHz, 2.1 GHz Y LTE	Zonas rurales y con menos de 30 000	Operadores entablaron acuerdo de compartición para cumplir con exigencias de cobertura de sus contratos de concesión en rurales.

				habitantes.	
México	Sí	LTE	700 MHz	Nacional	El proyecto "Red Compartida" contempla la figura de un operador mayorista de la banda de 700 MHz, por lo que inherentemente, estaría exigiendo la compartición de infraestructura activa con espectro compartido en dicha banda.
EEUU	Sí	LTE	700 MHz	Nacional	El proyecto FirstNet busca desplegar una red de seguridad pública en la banda de 700 MHz, sin embargo, el proyecto busca que dicha red sea compartida y utilizada por los operadores móviles, con la finalidad de que la red posea auto-sostenimiento financiero. Asimismo, en caso de emergencias, la capacidad de la red será priorizada para servicios de emergencia.

Fuente: Cullen International, Información de Reguladores.

Tabla 2.3. Resumen de Experiencia Internacional de Asignación Dinámica de Espectro

País	¿Existe regulación de utilización de Espacios en Blanco de Espectro en bandas asignadas a TV (TV White Spaces)?	¿Existe regulación para otras modalidades de asignación dinámica de espectro?	Banda de espectro	¿Necesidad de desplegar base de datos centralizada?	¿Necesidad de desplegar red de sensores de espectro?	Otros
Reino Unido	Sí (Mandatoria)	No	470-550 MHz, 614-790 MHz	Sí	No, pero se recomienda en una segunda fase.	Ninguno
Unión Europea	No, pero sí recomendación técnica	No, pero sí recomendación para establecer esquemas de acceso de manera secundario al espectro radioeléctrico en la modalidad LSA y CUS.	LSA: Cualquiera, pero en particular la banda 2.3 GHz. Espacios en Blanco de Espectro: 470-790 MHz. CUS: 2.4 GHz, 5.8 GHz.	Sí	No, pero se recomienda en una segunda fase.	Ninguno
EEUU	Sí (Mandatoria)	Regulación que permite uso de radios cognitivas en bandas no licenciadas (Banda ISM).	2.4 GHz, 5.8 GHz, 900 MHz	No	No disponible	Ninguno

	Sí	Regulación de Espacios en Blanco de Espectro	54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz y 470-698 MHz	Sí	No, pero se recomienda en una segunda fase.	Ninguno
	Sí	Regulación de acceso a espectro en 3 niveles	3.5 GHz	Sí	No, pero se recomienda en una segunda fase.	Ninguno
Singapur	Sí (Mandatory)	No	181-188 MHz, 209-223 MHz, 502-518 MHz, 614-622 MHz, 630-710 MHz, 718-742 MHz, 750-774 MHz, 790-806 MHz.	Sí	No, pero se recomienda en una segunda fase.	Equipos que utilizan el espectro de manera secundaria deben de tener una intensidad de señal menor o igual a -115 dBm en el borde de cobertura, con la finalidad de no interferir a señales primarias del país vecino.
Malasia	No	No	No aplica	No aplica	No aplica	Regulador y universidades realizan estudios de nivel de utilización del espectro radioeléctrico, evidenciándose subutilización del mismo.

Argentina	No	No	No aplica	No aplica	No aplica	Existen proyectos pilotos entre el gobierno y Microsoft que utilizan la tecnología 802.22, en las bandas asignadas a TV.
Colombia	No	No	No aplica	No aplica	No aplica	Existen proyectos pilotos entre el gobierno y Microsoft que utilizan la tecnología 802.22, en las bandas asignadas a TV.

Fuente: Cullen International, Información de Reguladores.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LAS MODALIDADES DE USO COMPARTIDO DE ESPECTRO

De lo revisado en el capítulo 1 del presente documento, se indicó que se tiene diferentes modalidades para mejorar el uso eficiente del espectro mediante el uso compartido del mismo, a saber: i) Uso compartido activo de la infraestructura móvil con uso compartido de espectro (MOCN), ii) Roaming Nacional, iii) Operador Móvil Virtual, iv) Operador de Infraestructura Móvil Rural y v) asignación dinámica de espectro. Asimismo, al inicio del capítulo 2, se revisó el estado de la reglamentación peruana respecto a dichas modalidades de compartición de espectro, mostrándose que las modalidades que actualmente presentan reglamentación en nuestro país son las de Operador Móvil Virtual y Operador de infraestructura móvil rural, sin embargo, es permitente analizar a detalle cada una de estas modalidades para encontrar oportunidades de mejora a las alternativas ya reglamentadas y que alternativas no reglamentadas pueden ser aplicables en nuestro país.

En ese sentido, en el presente capítulo se analizan diversos aspectos de cada una de las modalidades mencionadas, con la finalidad de establecer criterios generales que permitan comparar las alternativas y analizar cual o cuales de ellas se adecuarían de mejor manera en el país y que oportunidades de mejora se podrían realizar a las ya reglamentadas desde una perspectiva técnica y regulatoria.

3.1. Análisis del Roaming Nacional

Tal como se vio en el capítulo 1, el Roaming Nacional se basa en la interconexión de las redes de núcleo de dos o más operadores, a través de enlaces de interconexión entre sus HLR y VLR. Estas interconexiones permiten que los usuarios de una red “A” puedan registrarse como usuarios de una red “B”, y utilizar los servicios de voz y datos contratados con el operador “A” a través de la red del operador “B” en zonas en donde el operador “A” no cuente con cobertura efectiva. Así, el operador “B” brinda acceso a su espectro y a su red de acceso al operador “A” en zonas específicas en donde éste último no cuente con cobertura [12]. Cabe indicar que dado que el operador “B” utilizará el espectro y la totalidad de la infraestructura de acceso de una o varias tecnologías de la red el operador “A”, no tendrá control alguno de los nodos de red, por el cual la calidad de servicio brindada al usuario final dependerá enteramente del operador “A”. Asimismo, se entiende que el nivel de diferenciación entre los productos comerciales del operador “A” en zonas geográficas en donde acceda mediante Roaming Nacional mediante la red del operador “B” se limitará a lo que técnicamente pueda ofrecer la red del operador “B” en dichas zonas²⁷.

En ese sentido, aun cuando a nivel técnico, las adecuaciones necesarias para implementar el Roaming Nacional sean principalmente enlaces de interconexión las cuales no representan una alta complejidad de despliegue a los operadores, por lo cual se podrían realizar con reducida complejidad inclusive en redes ya desplegadas, se debe tener en cuenta que es probable que el operador que ofrezca el Roaming Nacional experimente un aumento de la carga de sus celdas (estaciones base) compartidas, lo cual podría resultar en inversiones adicionales a este operador [81].

A nivel regulatorio, en los países revisados en la sección 2 del presente documento, algunos reguladores europeos exigen a los operadores con poder significativo de mercado y a operadores que hayan ganado una banda de espectro en particular, el acceso al Roaming Nacional a operadores entrantes o que no cuenten con espectro en dicha banda, por un periodo de tiempo en particular, con la finalidad de fomentar

²⁷ Por ejemplo, en caso que el operador “B” en una zona en particular tenga cobertura solamente 2G y el operador “A” no tenga cobertura alguna y posean ambos un acuerdo de Roaming Nacional, los usuarios del operador “A” en aquella zona solo podrán acceder a cobertura 2G y por ende a solamente los servicios que puedan ser brindados a través de dicha red (v.g. voz y datos a muy baja velocidad).

la competencia, y brindar facilidades a los operadores con menor participación de mercado aumenten paulatinamente su infraestructura y cobertura propia.

Sin embargo, existen ciertos riesgos en exigir el Roaming Nacional sin adecuados lineamientos, como por ejemplo, la reducción de los incentivos a desplegar infraestructura propia de operadores entrantes o con menor participación de mercado, lo cual puede reducir el nivel competitivo del mercado móvil. En ese sentido, el Roaming Nacional será beneficioso para el mercado móvil, cuando se establezcan incentivos tanto para los operadores con mayor participación de mercado, como por ejemplo, establecer tarifas mayoristas que permitan recuperar los costos de compartición y operación de la infraestructura y que acoten el tiempo de exigencia de los acuerdos de Roaming a una cantidad limitada de años (v.g. 5 años máximo), de esta manera también se brindarían incentivos a los operadores más pequeños o entrantes a que inviertan, con menor presión competitiva, en el despliegue de infraestructura propia. Asimismo, el Roaming Nacional sería una solución parcial a la problemática de falta de cobertura móvil, toda vez que la misma se da en zonas en donde existe cobertura de al menos un operador, mientras que en la mayoría de zonas rurales no existe cobertura móvil, en ese sentido, el Roaming Nacional debería de ser permitido en conjunto con otras políticas que incentiven el despliegue y compartición de infraestructura y de espectro [81].

3.2. Análisis de la Compartición activa de infraestructura móvil con espectro compartido (modalidad MOCN)

En el caso de la modalidad de compartición de infraestructura activa con espectro compartido (modalidad MOCN), disponible para redes 3G en adelante, y en el cual hasta 5 operadores pueden compartir el segmento de radio acceso y las frecuencias que poseen [82], estos operadores mantienen el control lógico de cada uno de los nodos compartidos (Estaciones Base, Controladores de Red), lo cual les permite tener un mayor control de sus recursos y funciones de red críticas como control de admisión, asignación de códigos de ensanchamiento de espectro, control de potencia, control de handoff, entre otros [83].

A diferencia del Roaming Nacional, en el cual el usuario de la red del operador que no cuenta con cobertura, se desengancha de su red contratada y se registra en la

red visitada que sí cuenta con cobertura por lo que aparecerá el logo de la red de un operador distinto al contratado; en la compartición activa de infraestructura con espectro compartido (MOCN), el usuario no se desengancha de la red del operador toda vez que el estándar permite que para la identificación de diferentes redes bajo una misma infraestructura de acceso, se envíe información del PLMN-ID²⁸ de los operadores a través de los canales broadcast (BCH²⁹, BCCH³⁰, etc) de las estaciones base compartidas. Así, los móviles recibirán diferentes PLMN ID y se conectarán a la de su operador contratado, manteniendo el logo y los servicios que su operador contratado haya configurado en las estaciones base compartidas [84].

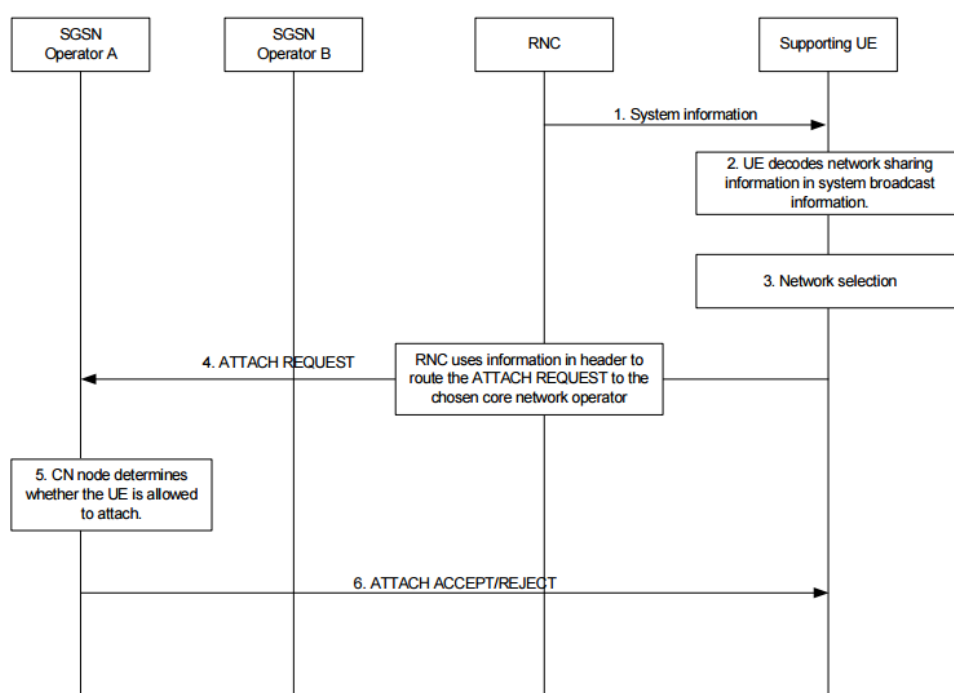


Figura 3.1. Proceso de identificación de la red del operador en el terminal móvil en un esquema MOCN

Fuente: [84]

A nivel técnico, la compartición en la modalidad MOCN conlleva a una serie de adecuaciones a nivel de software en la red de radio-acceso a compartir³¹, así como

²⁸ Public Land Mobile Network Identification

²⁹ Broadcast Channel

³⁰ Broadcast control channel

³¹ Configuraciones en las controladoras de estaciones base y estaciones base, compra de licencias, configuraciones de VLAN que soporten el tráfico de cada operador, optimización de parámetros de red, entre otros.

el despliegue de enlaces de transporte entre los controladores de estaciones base y las redes de núcleo de los operadores [85]. Asimismo, conlleva a un redimensionamiento de la red, en caso se trate de compartir una red comercialmente operativa, toda vez que significara un aumento importante de usuarios que puedan afectar la cobertura efectiva de la red y los niveles de calidad de la misma. Dado lo anterior, la compartición en la modalidad MOCN presenta una alta complejidad en redes ya desplegadas, por ese motivo, la mayoría de las experiencias a nivel mundial de redes que utilizan esta modalidad se ha dado en nuevos despliegues [86].

Dentro de las ventajas de la compartición de infraestructura activa con espectro compartido, podemos mencionar lo siguiente:

- Los operadores tienen mejor control de sus recursos de red en comparación de un esquema de Roaming, dado que a nivel lógico, sí cuentan con nodos bajo su control.
- A diferencia del Roaming Nacional, permite que el usuario no vea restringido servicios de voz y/o datos, es decir, dado que los operadores manejarán sus propios recursos de red de manera lógica, el usuario no se desengancha de la red origen y no pierde los servicios de voz y/o datos contratados con su operador, por lo que es una opción transparente para el usuario final.
- En la modalidad MOCN, permite que aún sin espectro dedicado para una tecnología en particular, un operador pueda utilizar de manera compartida el espectro de otro operador. Sobre este punto, actualmente la 3GPP a través de la recomendación TR.22.852 (disponible desde la Release 12 del 3GPP en adelante), especifica escenarios en donde el operador que cede espectro puede dedicar recursos de radio específicos para su red y compartir solo una parte de sus recursos bajo demanda, es decir asignar de manera estática o dinámica sus recursos de radio [87], [88] .
- Permite importantes ahorros en lo que respecta al CAPEX (hasta 30%) [83]-[89]; y OPEX (hasta 15% anual durante un periodo de 5 años de operación) de la red [89]. Asimismo, de acuerdo con lo mencionado por la UIT-T

SG3RC³² en [90], con la compartición de infraestructura activa con espectro compartido los operadores pueden ahorrar hasta un 10% adicional en comparación de la compartición activa sin espectro compartido (MORAN), lo cual coadyuvaría a reducir las tarifas a nivel minorista de los servicios móviles.

No obstante, esta modalidad cuenta con algunas desventajas, dentro de las cuales tenemos:

- Necesita de más adecuaciones de red por parte de los operadores que deciden compartir infraestructura en comparación de un esquema de Roaming Nacional.
- La modalidad MOCN sólo se encuentra disponible desde la Release 6 del 3GPP (HSUPA³³ en adelante), es decir, terminales móviles que no sean compatibles con dicha versión de la tecnología no podrán utilizar correctamente el servicio de voz y/o datos, dado que podrán presentar problemas en el registro a la red a la que pertenecen. Asimismo, la asignación de recursos de radio de forma estática o dinámica en la red compartida, necesita de soluciones de virtualización de funciones de red, con la finalidad de que los operadores posean control de los nodos de red y asignen recursos, reconfiguren parámetros de red de manera aislada de otros operadores que comparten la misma red [91].
- En la modalidad MOCN, al compartir los recursos de radio (espectro) entre 2 o más operadores, en zonas de alto tráfico y alta concurrencia de usuarios, la calidad de servicio puede verse impactada (congestión) si es que la infraestructura de red no crece proporcionalmente al incremento de usuarios.
- En redes ya desplegadas, puede existir inconvenientes en la compartición de infraestructura activa, debido a incompatibilidades entre los equipamientos de los operadores.

Por otro lado, a nivel regulatorio, diversos países permiten la compartición activa en la modalidad MOCN, sin embargo, la misma debe ser aprobada previamente por el

³² UIT-T Study Group 3 Regional Group for Latin America

³³ High-Speed Uplink Packet Access

regulador, toda vez que la compartición del espectro puede reducir el incentivo de las empresas operadoras a concursar por bloques de espectro radioeléctrico, toda vez que podrían utilizar el espectro de una sola. Cabe indicar que de acuerdo con la experiencia internacional revisada en el capítulo 2 de la presente tesis, ningún país analizado exige a los operadores móviles la compartición activa de infraestructura en la modalidad MOCN, excepto el caso mexicano, en donde, dado que el modelo del proyecto “Red Compartida” se basa en la figura de un operador mayorista en la banda de 700 MHz, inherentemente el Estado Mexicano estaría exigiendo la compartición activa de infraestructura en la modalidad MOCN en dicha red como una de las soluciones técnicas para brindar servicios mayoristas.

3.3. Análisis de la Asignación dinámica de espectro

Tal como se vio en el capítulo 1, las técnicas de asignación o compartición dinámica del espectro se basan en el uso de radios cognitivas y SDR para hallar y administrar los Espacios en Blanco de Espectro.

Asimismo, para asignar los Espacios en Blanco de Espectro se suele desplegar bases de datos geo-referenciadas las cuales ayudan a contar con un listado de las frecuencias asignadas a los servicios primarios, su ubicación geográfica, los parámetros de radio frecuencia utilizados por los transmisores (v.g. potencia de transmisión, altura de antena, polarización, modulación, etc) con la finalidad asignar de manera más eficiente los Espacios en Blanco de Espectro a los usuarios secundarios.

Cabe recordar que tal como se mencionó en el capítulo 1 de la presente tesis, a nivel técnico, existen 3 modalidades de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro (underlay, overlay e interweave) que son importantes de recordar y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Resumen de modalidades de acceso al espectro de forma secundaria

Underlay	Overlay	Interweave
Los usuarios secundarios conocen la potencia de los transmisores primarios	Los usuarios secundarios deben de conocer parámetros de radio del sistema primario (v.g. códigos de ensanchamiento, potencia, modulación, etc).	Cuando los usuarios primarios no están usando el espectro en el dominio del tiempo, espacio y frecuencia, los usuarios secundarios pueden utilizar los Espacios en Blanco de Espectro identificados.
Mientras que los niveles de interferencia no sobrepasen un límite aceptable, se permite que operen sistemas secundarios de manera simultánea con sistemas primarios.	Los usuarios secundarios pueden transmitir al mismo tiempo que los usuarios primarios, al utilizar parte de su potencia para retransmitir los mensajes de los usuarios primarios.	Los usuarios secundarios no pueden transmitir de forma simultánea con los usuarios primarios.
La potencia de los sistemas secundarios viene limitada por el nivel máximo de potencia permitida por el sistema primario.	La potencia de los sistemas secundarios no está limitada, sin embargo, para evitar interferencias perjudiciales con los sistemas primarios, se debe utilizar parte de la potencia del sistema secundario para retransmitir señales del sistema primario.	La potencia de los usuarios secundarios se limita al rango de su capacidad de sensado del espectro.

Fuente: [92]

Asimismo, es importante indicar que en la actualidad existen estándares comerciales que utilizan el concepto de asignación dinámica de espectro como lo son el estándar 802.22, 802.11 af y el LTE –U, vistos en la sección 1.4.5.4 de la presente tesis, por lo que se evidencia que la tecnología para soportar este tipo de

tecnología ya está disponible en el mercado, sin embargo, estas tecnologías no cuentan con economías escalas importantes, dado que su implementación se ha dado en proyectos pilotos, algunos de los cuales han sido mencionados en la sección 2.3 de la presente tesis.

Por otro lado, a nivel regulatorio, para la permisibilidad de la asignación dinámica del espectro, la experiencia internacional revisada en el capítulo 2 del presente documento indica que se han establecido 4 esquemas de asignación de espectro de forma secundaria y dinámica, los cuales son: Licensed Shared Access (LSA), Collective Use of Spectrum (CUS), Three Tier Access y Acceso a los Espacios en Blanco de Espectro en las bandas de radiodifusión por televisión, los cuales se analizarán a detalle a continuación:

- **Licensed Shared Access (LSA):** Esta modalidad es impulsada por la Unión Europea, y se basa en la permisibilidad de que un operador “A” que se haya adjudicado un bloque de espectro, pueda compartir su espectro con uno o varios operadores en base a condiciones preestablecidas (acuerdos de zonas geográficas, cantidad de espectro, tiempo de acuerdo, etc) por ambas partes y bajo el consentimiento del regulador. Cabe mencionar a que diferencia de un esquema de mercado secundario de espectro, el operador “A” no transfiere los derechos de su espectro, por el contrario, cede por un tiempo limitado, su uso por parte de otro operador, pero la titularidad del mismo permanece con el primero [93]. Asimismo, el uso del espectro en una zona geográfica determinada se vuelve exclusivo para el operador que lo utilice, asegurando de esta manera un uso libre de interferencias y una calidad de servicio predecible [72]. Cabe indicar que, de acuerdo con [94] y [72], se establece que los sistemas que soporten LSA deben de desplegar una base de datos geo-referenciada que permita administrar las diferentes asignaciones de espectro que el operador haya realizado. La estandarización del LSA viene siendo liderada por ETSI, mediante las recomendaciones TR 103 113, TS 103 154 y TS 103 235 [95].

Es preciso indicar que el LSA se está implementando mayormente en bandas atribuidas anteriormente para servicios de seguridad nacional, radioastronomía, telemetría, entre otras, pero que en la actualidad han sido identificadas por la 3GPP y/o UIT para brindar servicios móviles avanzados

(v.g. banda 2.3 GHz³⁴) [96]. En efecto, se tiene el uso de LSA en la banda de 2.3 GHz en Francia, en donde dicha banda está asignada para uso primario para aplicaciones de telemetría y otros servicios de defensa nacional, sin embargo, el departamento de defensa de dicho país y ARCEP llegaron a un acuerdo por el cual en las zonas en donde no se utilice dicha banda para zonas de defensa nacional, podría ser utilizada para brindar servicios inalámbricos [97].

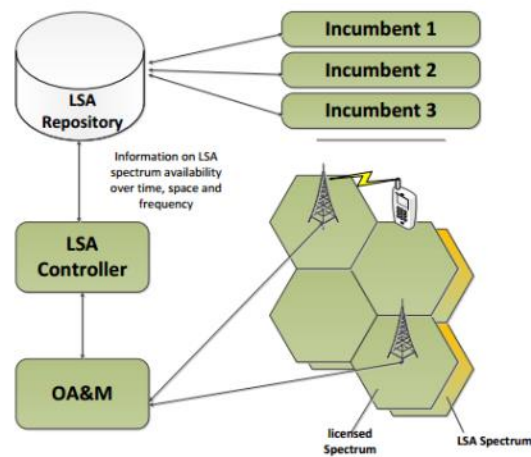


Figura 3.2. Arquitectura LSA

Fuente: Intel, en base a recomendación ETSI TS 103 325

Para la protección de interferencias de los servicios primarios (incumbentes), el esquema LSA define zonas 3 tipos de zonas: i) zonas de exclusión, ii) zonas de restricción y iii) zonas de protección. En las zonas de exclusión, no se permiten a los sistemas secundarios tener algún tipo de radio transmisor activo. En las zonas de restricción, se permite que los sistemas secundarios operen con ciertas condiciones, como por ejemplo, como un nivel máximo de PIRE³⁵ previamente definido. Por último, en las zonas de protección, los receptores de los servicios primarios no deben de estar sujetos a alguna interferencia perjudicial por parte de los sistemas secundarios, es decir, los niveles de interferencia deben de estar por debajo de niveles de potencia variables por cada servicio primario a proteger [96].

³⁴ Banda 40 del 3GPP en configuración TDD

³⁵ Potencia isotrópica radiada efectiva



Figura 3.3. Zona de exclusión

Fuente: [98]

- **Collective Use of Spectrum (CUS):** Este esquema, también estipulado por la regulación de la unión europea, se basa en el uso simultáneo del espectro por múltiples usuarios en una misma banda y en una misma zona geográfica. Así, los sistemas que operen bajo el modelo CUS deben soportar niveles más elevados de interferencia, pero a su vez, se les suele exigir que operen con límites máximos de potencia, ciclos de trabajo, entre otras exigencias, con la finalidad de que puedan operar un número elevado de usuarios de manera simultánea con niveles reducidos de interferencia [72]. Como ejemplo de dicho esquema se tiene al uso de las banda no licenciadas como la banda de 2.4GHz o la banda de 5.8 GHz, las cuales son usadas por diferentes sistemas inalámbricos como 802.11 (WIFI), 802.15.1 (Bluetooth), 802.15.4 (zigbee), LTE en espectro no licenciado (LTE-U) entre otras.
- **Three Tier Access:** Este modelo fue propuesto por la FCC para la banda de 3.5 GHz, el cual se basa en un esquema jerárquico de 3 niveles de acceso al espectro. El primer nivel, se enfoca en los actuales usuarios de la banda, el principal usuario de dicha banda es el departamento de defensa de los Estados Unidos y los sistemas de radares navales, así como sistemas fijos por satélite y los sistemas de localización radial. Los usuarios del primer nivel de acceso tienen la más alta prioridad de acceso al recurso escaso. El segundo nivel de acceso lo tienen los operadores de servicios móviles, los cuales, por medio de una subasta previa acceden al recurso (bloques de 10

MHz TDD), sin embargo, deben dejar de usar el espectro en caso algún usuario primario lo necesite y utilizar otra porción de 10 MHz de la banda de 3.5 GHz que no esté adjudicada para otro usuario secundario. En el tercer nivel, se accede al recurso de manera no licenciada, sin embargo, deben de dejar de utilizar el recurso en caso algún usuario secundario o primario lo esté utilizando [96].

Para implementar este modelo, la FCC ha establecido el despliegue de un sistema de acceso al espectro (SAS)³⁶ diseñado específicamente para esta banda, el cual es una base de datos en donde se deben de registrar los usuarios primarios, secundarios y terciarios de dicha banda, de esta manera el sistema autorizará el uso del espectro por prioridades y por zonas geográficas específicas, basándose en la ubicación de los usuarios primarios, secundarios y terciarios [96].

En línea con lo anterior, los equipos terminales de los usuarios primarios, secundarios y terciarios deben esperar por la autorización del sistema centralizado antes de transmitir, y el sistema centralizado puede ajustar la potencia de transmisión del equipo con el fin de reducir la interferencia entre los distintos niveles de usuario [96].

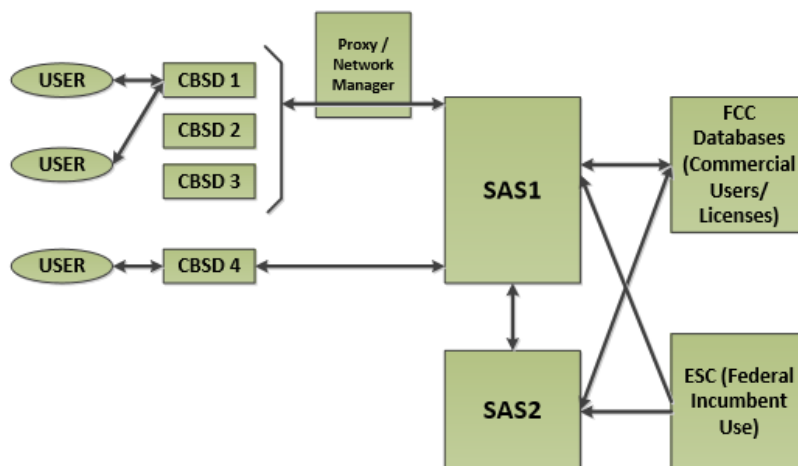


Figura 3.4. Arquitectura SAS

Fuente: Intel

³⁶ Spectrum Access System (SAS)

Sobre la protección de interferencias para el caso de los sistemas primarios (incumbentes), de forma similar al enfoque LSA europeo, la FCC define zonas de exclusión particularmente en las zonas costeras, en donde el departamento de defensa opera radares de alta potencia en la banda de 3.5 GHz. Así, dentro de dichas zonas, no sería factible la compartición del espectro. Cabe indicar que dichas zonas de exclusión fueron definidas toda vez que en una primera etapa, no se desplegó un sistema de sensado y monitoreo del uso espectro, solamente un sistema de base de datos georreferenciado de ubicación de transmisores primarios, secundarios y terciarios. Se espera que una vez que se despliegue dicha red de sensores de espectro, no sea necesario el establecimiento de zonas de exclusión [96].

Con respecto a la protección de los usuarios secundarios y terciarios, define Census Tracts (aproximadamente 76 000 de estos), los cuales son zonas geográficas de diferentes tamaño que varían de acuerdo con la población y la zona geográfica (una zona rural, tendrá un tamaño de Census Tract más amplio que una zona urbana). Los usuarios secundarios cuentan con licencias de 10 MHz en duplexaje TDD para utilizar el espectro a nivel de Census Tracts. Se definen distancias mínimas entre los transmisores de los sistemas secundarios con la finalidad de reducir la interferencia co-canal. Asimismo, el sistema SAS asigna los canales de 10 MHz a ser utilizados dependiendo de los niveles de interferencia en un Census Tracts en particular. Por otro lado, para los usuarios terciarios el sistema SAS también asigna dinámicamente frecuencias no utilizadas por los usuarios secundarios para que puedan ser utilizados por los usuarios terciarios. De esta manera, se reduce los niveles de interferencia entre transmisores de los usuarios secundarios y entre usuarios secundarios y usuarios terciarios [99].

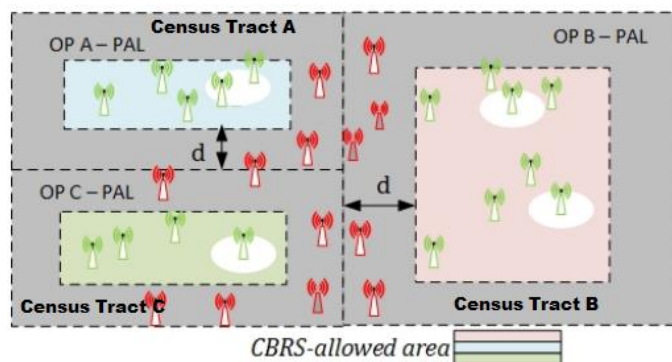


Figura 3.5. Census Tracts y ubicación de transmisores de usuarios secundarios.

Fuente: [99]

Por otro lado, es importante indicar que si bien es cierto, los sistemas de base de datos geo-referenciados necesarios para implementar los modelos regulatorios de asignación dinámica de espectro presentados (LSA y Three Tier Access) son una solución eficiente para permitir el uso compartido del espectro, estos sistemas pueden ser susceptibles a ser blancos de ataques informáticos, toda vez que cuentan con información sensible de la ubicación geo-referenciada y otros parámetros de radio de usuarios primarios (v.g. sistemas de transmisión de servicios de seguridad nacional como radares navales) y de usuarios secundarios o terciarios en el caso del SAS. De esta manera, los sistemas que utilicen base de datos centralizadas para la asignación dinámica del espectro, deben de contar con procesos de autenticación y sistemas encriptados entre el servidor centralizado y los usuarios primarios y secundarios, con la finalidad de evitar que usuarios malintencionados accedan a la información sensible contenida en los servidores [69].

- **Acceso a Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por televisión**

Tal como se vio en la sección 2, los Estados Unidos, Reino Unido y Singapur cuentan con regulaciones que permiten el acceso de forma secundaria al espectro asignado para servicios de radiodifusión por televisión. Las bandas las cuales están sujetas a esta regulación se detallan en la tabla 2.3. de la presente tesis, disponible en el capítulo 2.

Asimismo, la literatura revisada indica que existen 2 modalidades para acceder de manera secundaria al espectro radioeléctrico en la modalidad de Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas a TV, los cuales son: el esquema centralizado, el cual depende de una base de datos centralizada que conozca de forma geo-referenciada las asignaciones de espectro, la ubicación de los transmisores primarios y secundarios, las características de radiofrecuencias de los mismos (potencia, modulación, etc); y la segunda modalidad sería el esquema que necesite el despliegue de una red de sensores de espectro, que permita conocer dentro de un amplio rango de frecuencias, cuáles de estas están siendo utilizadas [100].

Dada dichas modalidades, es preciso mencionar que las regulaciones de los países antes mencionados han coincidido y se han decantado por la implementación de un

sistema de base de datos georreferenciado que administre la asignación de los Espacios en Blanco de Espectro, dado que permite asegurar la operatividad de los sistemas primarios con el mínimo de interferencias perjudiciales producidas por los usuarios secundarios y reducir los inconvenientes de la problemática del “terminal escondido” presente en los sistemas de sensado del espectro. Así, los sistemas de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro basados en la implementación de una base de datos centralizada, consiste en dispositivos secundarios maestros y dispositivos secundarios esclavos. Los dispositivos maestros, se comunican directamente con la base de datos centralizada y deben contar con equipamiento GPS que permita conocer su ubicación geo-referenciada. Por el contrario, los dispositivos esclavos, solo pueden acceder al espectro de forma secundaria por medio de un dispositivo maestro, dado que no cuentan con equipamiento GPS [100].

De manera gráfica, en la siguiente figura se puede observar los componentes básicos de un sistema de acceso secundario a los Espacios en Blanco de Espectro de las bandas asignadas a los servicios de radiodifusión por televisión, utilizando un esquema de base de datos centralizada. La misma puede ser resumida en 6 pasos, los cuales se detallaran a continuación:

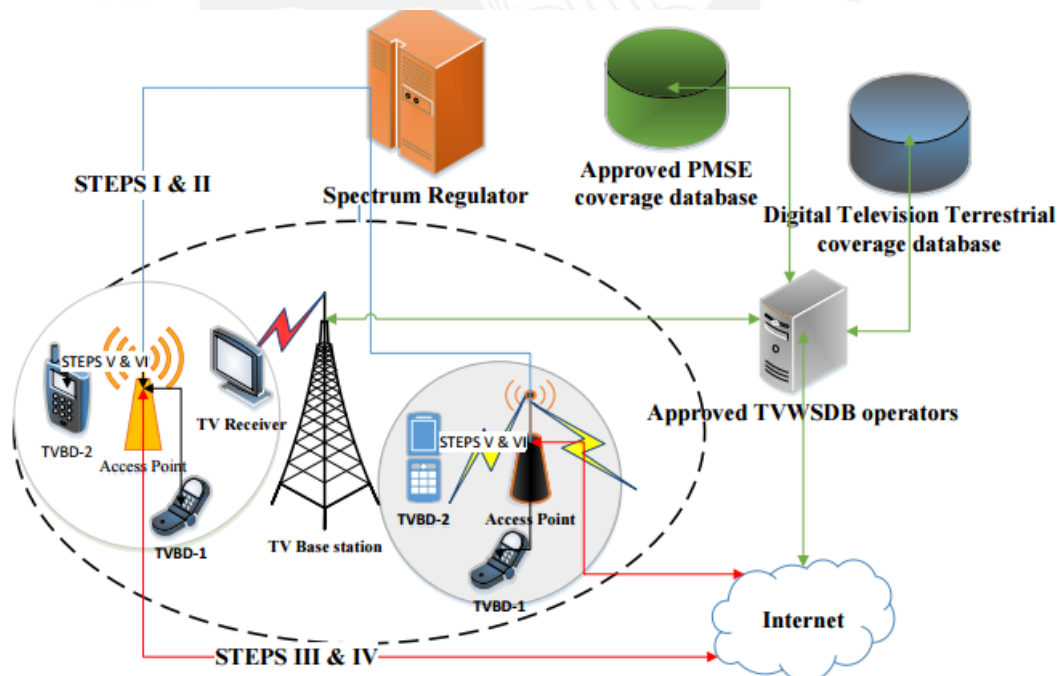


Figura 3.6. Arquitectura del esquema de asignación secundaria del espectro en las bandas de TV, bajo la modalidad de base de datos centralizada.

Fuente: [100]

Paso 1: Un dispositivo secundario maestro solicita al administrador del espectro en el país, la lista oficial de operadores de base de datos centralizados que operan en el país. De esta manera, el dispositivo secundario se asegura que el administrador del espectro ha homologado a dichos operadores de base de datos, y cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la regulación correspondiente [100].

Paso 2: El administrador del espectro brinda la lista de operadores de base de datos al dispositivo secundario maestro [100].

Paso 3: El dispositivo secundario, solicita a los operadores de base de datos homologados, frecuencias disponibles en las bandas de TV que no estén siendo utilizadas en la zona donde se encuentre localizado. Para esto, el dispositivo secundario maestro brinda información de algunos parámetros operacionales suyos como la configuración de sus antenas, la altitud de la torre, la potencia máxima de transmisión, el rango de frecuencias en la que opera, entre otros [100].

Paso 4: El operador de base de datos centralizada responde a la petición de los usuarios secundarios, brindando las frecuencias que puede utilizar así como los parámetros de radiofrecuencia a utilizar (v.g. potencia máxima a utilizar), no sin antes realizar los procedimientos correspondiente para conocer si existe frecuencias disponibles en la zona donde se encuentra el dispositivo secundario maestro. Así, el operador de base de datos debe contar con información brindada por el administrador de espectro en el país, sobre la ubicación de los operadores de radiodifusión en la zona, sus potencias de transmisión, usuarios de micrófonos inalámbricos, entre otros usuarios que utilicen de manera primaria dicha banda [100].

Paso 5: Un dispositivo secundario esclavo solicita a un dispositivo maestro una frecuencia disponible, así como parámetros de operación. Para que el dispositivo maestro le asigne dichos parámetros, el dispositivo secundario debe proveerle un código de identificación, por ejemplo, su dirección MAC [100].

Paso 6: Una vez cotejado el número de identificación del dispositivo secundario, el dispositivo primario puede enviar la información solicitada. El dispositivo secundario debe escuchar primero al dispositivo maestro antes de transmitir, siguiendo la información brindada por éste. En caso el dispositivo secundario esclavo solicite información adicional para su operación, el dispositivo maestro reenviará esta petición al administrador de base de datos para que éste último realice los cálculos

necesarios y luego lo reenvió hacia el dispositivo secundario a través del dispositivo maestro [100].

Es preciso mencionar que la información de frecuencias disponibles y de parámetros de operación de los dispositivos secundarios maestros y esclavos brindada por el administrador de base de datos, es calculada en base a la información brindada por el administrador del espectro, utilizando para ellos modelos de propagación³⁷, modelos de interferencia, entre otros parámetros de tiempo, espacio y frecuencia, lo cual permite estimar la cobertura de los servicios primarios y en base a ellos, conocer de forma estimada que zonas geográficas no cuentan con algún servicio primario de radiodifusión en operación. Asimismo, la regulación de Espacios en Blanco de Espectro de la FCC contempla zonas de protección de los sistemas primarios en toda aquella zonas en donde la intensidad de señal es como mínimo 41 dBuV/m [100], lo cual, de acuerdo con simulaciones realizadas en [101] representa un radio de cobertura de 30 Km en la banda de 470 MHz.

Por otro lado, de acuerdo con [100], la implementación de las regulaciones de acceso a Espacios en Blanco de Espectro, los reguladores experimentaron algunas dificultades tales como:

- La necesidad de contar un protocolo de comunicación entre los diferentes operadores de base de datos,
- La necesidad de establecer periodos de actualización de las bases de datos, ya sea cada 6 horas en el caso de Singapur, o cada vez que ocurra algún tipo de cambio significativo en la ubicación de los sistemas primarios o secundarios (v.g. cuando ocurra una movilidad de al menos 50 metros),
- El proceso de verificaciones de las estimaciones de cobertura, en base a pruebas de campo de algunas zonas, de los operadores de base de datos en base a la información brindada por los administradores de espectro.
- La necesidad de establecer un formato único para el envío de información de los parámetros de operación entre la base de datos centralizada y los sistemas secundarios maestros.

³⁷ Modelos Empíricos de ITU-R, Modelo Longley-Rice, etc.

3.4. Análisis del Operador de Infraestructura Móvil Rural (OIMR)

Los Operadores de infraestructura móvil rural, tal como lo contempla la regulación peruana, son aquellos que cuentan con título habilitante para prestar servicios portadores, cuentan con un Registro de Operador de Infraestructura móvil Rural y despliegan infraestructura civil, radioeléctrica y de transporte en zonas rurales donde los operadores móviles no cuenten con cobertura. Asimismo, los OIMR no cuentan con espectro y no cuentan con usuarios finales. Es así que los OIMR ofrecen su infraestructura desplegada a los operadores de red y por obligación expresa indicada en la Ley 30083 y su reglamento, estos últimos deben de acceder a la infraestructura del OIMR en caso no cuenten con infraestructura propia en una localidad rural en particular. Dado lo anterior, el esquema OIMR no contempla la compartición del espectro radioeléctrico, toda vez que cada operador de red que quiera utilizar los servicios del OIMR debe contar con espectro propio, sin embargo, es importante analizar el presente esquema de compartición de infraestructura, con la finalidad de encontrar oportunidades de mejora que contemplen modalidades de compartición de espectro.

Cabe indicar que a fines del mes de abril del 2017, el OSIPTEL, a través de la Resolución N°059-2017, publicó la versión final de las normas complementarias que definen los puntos económicos y técnicos a considerarse en los acuerdos entre OIMR y OMR, indicándose que los OIMR y OMR negociarían de forma privada las condiciones técnicas y económicas de sus contratos, pero, en caso de que luego de 60 días calendario de iniciada las negociaciones no lleguen a un acuerdo, podrán solicitar un mandato de acceso al OSIPTEL. Es así que, en una primera etapa, el OIMR pactaría directamente con el OMR respecto al esquema de acceso a la infraestructura, pudiendo cobrar en base al tráfico consumido por el OMR o pudiendo cobrar una tarifa constante por el acceso a la infraestructura civil y radioeléctrica, independientemente del tráfico consumido por el OMR, o un esquema mixto; y en caso no lleguen a un acuerdo, el OSIPTEL determinará el esquema de acceso a la infraestructura mediante un mandato de acceso.

Asimismo, a nivel técnico el OIMR podría desplegar soluciones en el segmento de radio acceso en donde pueda compartir la infraestructura activa (antenas, equipamiento de radio, controlador de estación base) entre diferentes operadores de red o desplegar infraestructura activa separada por cada operador; mientras que en el segmento de transporte (backhaul), el OIMR podría elegir una solución

satelital, de fibra óptica o de microondas, dependiendo de cuál de estas soluciones se ajuste más a su modelo de negocio y a la facilidades técnicas de la zona.

Hasta fines de enero del año 2017, se tiene conocimiento de que el OIMR Mayu Telecomunicaciones ha llegado a un acuerdo para prestar servicios al operador de red Telefónica del Perú en algunas zonas rurales y de interés social, sin embargo, se desconoce la cantidad de sitios en los cuales Mayu Telecomunicaciones brinda el servicio de OIMR al operador Telefónica [102]. Cabe resaltar también que existen iniciativas pilotos que pretenden explorar un modelo de negocio sostenible en el tiempo utilizando este esquema. Uno de ellos es el proyecto TUCAN 3G, proyecto de telecomunicaciones rurales impulsado por la Unión Europea que busca brindar servicios móviles a comunidades rurales en la selva peruana. Este proyecto se basa en el despliegue de una red 3G basada en femtoceldas, conexión entre estas femtoceldas utilizando tecnología WILD³⁸ y/o WIMAX que permita agregar el tráfico de las femtoceldas en un solo lugar y un enlace satelital que conecte el tráfico agregado con la red core del operador [103].

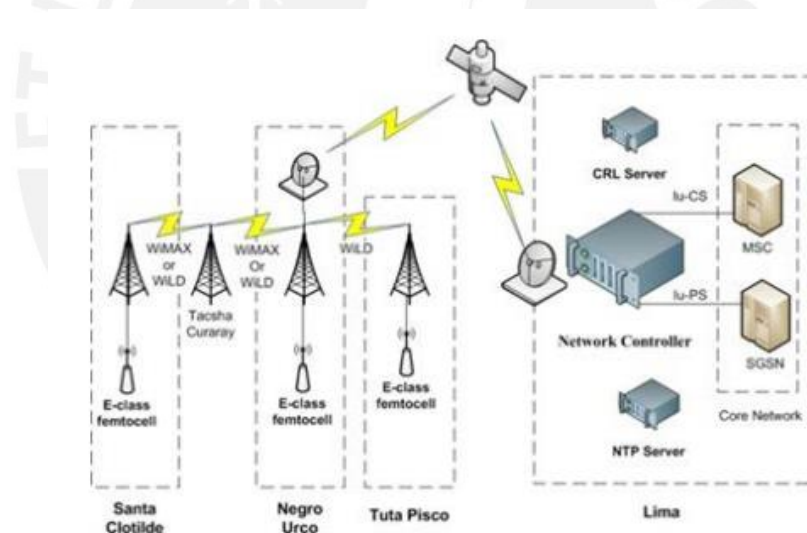


Figura 3.7. Solución técnica de proyecto TUCAN 3G.

Fuente: [103]

Sobre el modelo de negocio de dicho proyecto, en [103] se indica que el mismo se basa en el despliegue de infraestructura civil y de radio acceso en donde un operador rural en la modalidad OIMR, alquilará la infraestructura a un operador de red, el cual, para el proyecto, fue Telefónica del Perú, en donde este último comercializará el servicio móvil a los usuarios finales. Dado lo anterior, se necesita contar con al menos 97 usuarios por cada localidad para que la misma sea atractiva

³⁸ WIFI Long Distance

para un OMR y por ende rentable para el OIMR, considerando un horizonte de retorno de inversión de 5 años con subsidios de al menos el 70% del CAPEX y de 16 años sin subsidios³⁹. Cabe indicar que dicha estimación no considera el acceso de más de un operador de red a la infraestructura desplegada por el OIMR. Asimismo, el estudio recomienda que el despliegue de infraestructura en zonas rurales con menos de 1000 habitantes que se encuentran en zonas de la selva, se realice con subsidios del Estado, dado que de lo contrario, el tiempo de recuperación de la inversión sería mayor a 5 años, tal es así que se estima que con 100% de subsidios por parte del Estado por concepto de CAPEX sería rentable para un OMR o un OIMR desplegar infraestructura móvil en comunidades de inclusive 50 usuarios⁴⁰ con un periodo de retorno de 5 años, mientras que sin subsidios, se necesitaría al menos 190 usuarios por localidad⁴¹.

Es de esperarse que, cuando un OIMR alquile su infraestructura a más de un operador, el modelo de negocio se volvería más rentable, toda vez que el CAPEX realizado podría ser asumido por más de un operador. Sin embargo, este modelo de negocio está sujeto a que tan atractivo le sea a un OMR ingresar a una localidad en base a la demanda esperada. Así, podría pasar que un OIMR que no haya realizado un adecuado estudio de demanda, despliegue infraestructura en una localidad, pero solo uno o ningún operador le resulta atractivo dicha localidad, poniendo en peligro la rentabilidad del modelo de negocio. Sin embargo, en caso dicha localidad efectivamente cuente con una demanda esperada atractiva, el OIMR podría establecer un caso de negocio atractivo, considerando que, dada las exigencias de la Ley 30083, cuando un OIMR posea infraestructura en una localidad rural en donde un OMR no tenga presencia, este último debe obligatoriamente utilizar la infraestructura del OIMR para brindar servicios hasta que despliegue infraestructura propia.

Tal como se mencionó previamente, el OIMR cuenta con diversas alternativas que tendrían para desplegar la infraestructura de radio acceso en las zonas rurales, a saber: i) desplegar en la misma torre, equipamiento dedicado para cada operador que solicite el acceso a la infraestructura, ii) desplegar un solo equipamiento de radio acceso y compartir la infraestructura activa en la modalidad MORAN, esto es,

³⁹ Considera una penetración del servicio de telefonía móvil de 27%, lo que implica un mínimo de 360 habitantes. Además se consideró un ARPU por usuario de USD 11.00.

⁴⁰ 50 usuarios, considerando 27% de penetración móvil, equivale a 185 habitantes.

⁴¹ 190 usuarios, considerando 27% de penetración móvil, equivale a 700 habitantes.

operando las frecuencias de cada uno de los operadores de telecomunicaciones que solicite el acceso y iii) compartir la infraestructura activa en la modalidad MOCN, esto es, compartiendo la infraestructura activa y el espectro radioeléctrico.

Dichas modalidades, sobre todo la compartición de infraestructura pasiva y activa, permiten reducir de manera considerable el CAPEX y el OPEX de la infraestructura móvil a desplegar. No obstante, en zonas rurales en donde que en las localidades rurales, la demanda de voz y de datos es reducida, y la misma puede ser atendida con anchos de bandas de espectro reducidos (v.g. 5+ 5 MHz), la compartición activa con compartición de espectro sería una solución más adecuada en lo que respecta al uso eficiente del espectro para los OIMR. Así, en zonas rurales de baja demanda de tráfico, sería factible que con un ancho de banda reducido se pueda atender a los usuarios de múltiples operadores, al compartir el espectro y a la vez, reducir el CAPEX y OPEX del despliegue de infraestructura de forma no compartida. Lo anterior se logra, permitiendo al OIMR de contar con espectro radioeléctrico y, de forma similar al proyecto de la red de 700 MHz en México, pueda brindar servicios mayoristas a los operadores de red con un reducido CAPEX. Sobre lo dicho, en la sección 3.6 de la presente sección, se desarrolla un caso de estudio que analiza los ahorros que presentarían los OIMR en caso opten por desplegar infraestructura utilizando el esquema de compartición MOCN.

Es preciso indicar que los operadores de red tendrían incentivos de utilizar el espectro del OIMR con la finalidad de reducir aún más los costos de compartición, toda vez que al compartir el espectro, se reduce el número de equipamiento a instalar, dado que se necesitará solo un tipo de antena que transmita en una sola frecuencia, un solo equipamiento de banda base que procese las señales de los operadores, una solo enlace de transmisión para llevar las señales de las radiobases hacia un punto de presencia común, con lo cual se puede reducir en mayor medida los costos de despliegue y operación de los OIMR y por ende, reducir las tarifas a ser cobradas a los OMR.

Cabe indicar que en la sección 4 de la presente tesis, se desarrollará con mayor detalle la propuesta de mejora del esquema del OIMR.

3.5. Análisis del Operador Móvil Virtual (OMV)

Tal como se vio en el capítulo 1, se conoce como operador móvil virtual, a aquel operador de telecomunicaciones que no cuenta con espectro radioeléctrico, pero brinda servicios móviles a través de la red de un operador de red que si cuenta con espectro.

Es importante indicar que la literatura indica que existen diferentes niveles de operadores móviles virtuales, dependiendo del nivel de inversión de infraestructura propia con la que cuentan, tal como se muestra en la siguiente figura, pasando por un revendedor de líneas, el cual no cuenta con ninguna infraestructura propia más que una plataforma de comercialización de líneas, a un full OMV por el cual cuenta con red de acceso, red de transporte y red núcleo en donde solamente no cuente con espectro [13].

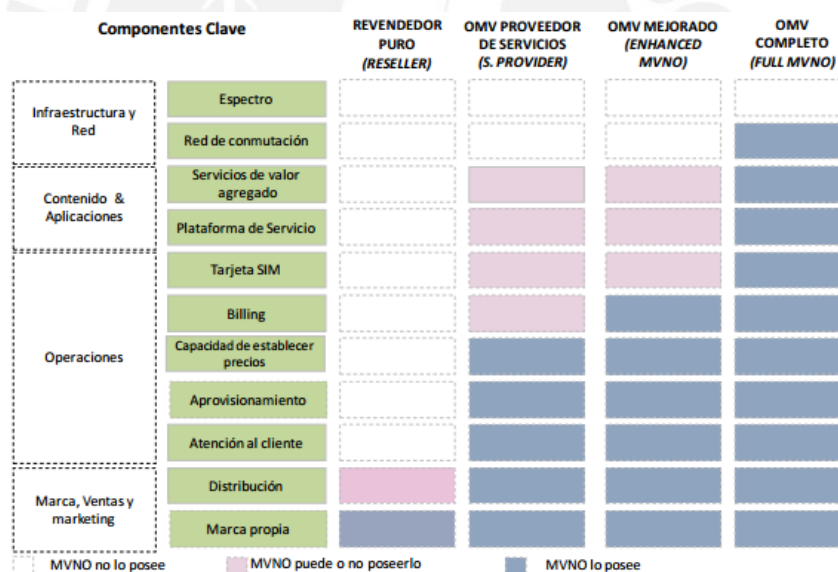


Figura 3.8. Clasificación de OMV

Fuente: [13] en base a información de Analysys Mason

Por otro lado, es importante indicar que a nivel técnico se podría considerar como operador móvil virtual inclusive a operadores de red que no posean espectro en una determinada banda y que deseen hacer uso de ésta por medio de otro operador. Sin embargo, tal como está redactada la definición del operador móvil virtual en la Ley 30083, un operador móvil solo puede ser considerando como tal cuando no cuente con ninguna concesión de espectro radioeléctrico.

Lo anterior limitaría la posibilidad de un operador que por alguna razón no haya ganado espectro radioeléctrico en determinada banda, pueda acceder al espectro de otro operador en la modalidad de operador móvil virtual o en todo caso, permitir un esquema de operador mayorista, en el cual, un operador pueda acceder a un bloque de espectro y vender capacidad de uso a operadores de red o entrantes que no cuenten con espectro en dicha banda, de manera similar al esquema de operador mayorista especificado para la banda de 700 MHz en México.

3.6. Casos de estudio

En la presente sección se describirá dos casos de estudio prospectivos, los cuales buscan estimar los ahorros que incurrirían los operadores móviles al utilizar los TV Espacios en Blanco de Espectro y la compartición activa con espectro compartido en el caso de estudio número 1 y los ahorros de los OIMR al desplegar infraestructura utilizando la compartición activa con espectro compartido para el caso de estudio 2.

3.6.1. Caso de Estudio 1

De las alternativas revisadas en las secciones precedentes del presente capítulo, en el presente acápite se busca estimar los ahorros que incurrirían los operadores móviles de utilizar 2 soluciones tecnológicas de compartición de espectro, las cuales serían:

- Utilización de Espacios en Blanco de Espectro en la banda de Radiodifusión por Televisión (TV White Spaces: 470 a 608 MHz y 614 a 698 MHz).
- Utilización de Compartición activa de infraestructura con espectro compartido.

Para ello, se considera un escenario en donde dos operadores móviles pretenden desplegar infraestructura para brindar el servicio de banda ancha móvil en un distrito sin cobertura móvil y que cuente con morfología suburbana, considerando las siguientes alternativas tecnológicas que utilizan el uso compartido de espectro:

- **Alternativa 1:** Despliegue de infraestructura móvil utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz sin uso de compartición de infraestructura.

- **Alternativa 2:** Despliegue de infraestructura móvil utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido

Para ello se comparará ambas alternativas, con los siguientes casos:

Alternativa 3: Despliegue de infraestructura móvil en la banda de 700 MHz (Banda 44 del 3GPP, configuración TDD)

Alternativa 4: Despliegue de infraestructura móvil en la banda de 2.3 GHz (Banda 40 del 3GPP, configuración TDD)

En ese sentido, se calculan los ahorros teniendo 7 esquemas de comparación, los cuales se listan a continuación:

Tabla 3.2. Esquemas de comparación de alternativas

Escenario 1		Escenario 2
Despliegue de infraestructura móvil utilizando TV Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz sin uso de compartición de infraestructura	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando TV Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido
Despliegue de infraestructura móvil utilizando TV Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz sin uso de compartición de infraestructura	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 700 MHz sin uso de compartición de infraestructura
Despliegue de infraestructura móvil utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz sin uso de compartición de infraestructura	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 2.3 GHz sin uso de compartición de infraestructura
Despliegue de infraestructura móvil	versus	Despliegue de infraestructura

utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido		móvil utilizando la banda de 700 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido
Despliegue de infraestructura móvil utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 2.3 GHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido
Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 700 MHz sin uso de compartición de infraestructura	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 700 MHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido
Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 2.3 GHz sin uso de compartición de infraestructura	versus	Despliegue de infraestructura móvil utilizando la banda de 2.3 GHz en conjunto con compartición activa de infraestructura con espectro compartido

Fuente: Elaboración Propia

Es preciso mencionar que para poder comparar los ahorros que experimentarían los operadores móviles en caso de utilizar las alternativas propuestas, se realizaron los siguientes supuestos adicionales⁴²:

- Se analiza el distrito de Vargas Guerra, Provincia de Ucayali, Región Loreto, el cual cuenta con una superficie de 1901 Km² y una población de 5116 habitantes en el año 1 de evaluación [104].

⁴² Para mayor detalle de los supuestos y cálculos realizados del presente caso de estudio, ver Anexo I.

- Se asume que la población del distrito crecerá a un ritmo de 3% anual.
- Se considera que el distrito cuenta con una morfología suburbana, dado que cuenta con altos niveles de árboles y maleza.
- Se analizan los costos de CAPEX y OPEX para un periodo de 10 años.
- Se asume que 2 operadores móviles, “Operador A” y “Operador B”, brindarán servicios inalámbricos al distrito a cubrir.
- Se asume que los operadores móviles cubrirán el 15% del área total del distrito, toda vez que es el porcentaje de área construida del mismo.
- Se asume que se tendrá una penetración del servicio móvil inicial de 23% en el año 1, con un crecimiento anual (CAGR⁴³) del 15%.
- Se estima que los operadores móviles empezarán con un Market Share de 60% y 40% respectivamente y en el año 10, contarían con un Market Share de 53% y 47% respectivamente, con una tasa de decrecimiento y crecimiento anual lineal a través de los 10 años del horizonte de evaluación.
- Se asume que los operadores desplegaran en todos los casos la tecnología LTE-TDD, con una eficiencia espectral promedio de 0.93 bps/Hz [105].
- Se considera que se tendrá una demanda de datos por usuario de 0.256 Mbps de velocidad nominal de descarga para el año 1 y de 2 Mbps para el año 10, con una tasa de crecimiento anual del 25.66%, con una velocidad garantizada del 40% y con un factor de simultaneidad del 20% en hora cargada.
- Para los casos de despliegue de infraestructura sin compartición, se asume para todos los casos, que cada operador contará con una portadora TDD de 5 MHz.
- Para los casos de despliegue de infraestructura con compartición activa en la modalidad MOCN, se asume para todos los casos, que cada operador compartirá el 50% del ancho de banda de la portadora TDD de 5 MHz.
- Para la alternativa que presenta compartición activa de infraestructura con espectro compartido, se considera que cada operador asumirá el 50% del CAPEX y del OPEX resultante.
- Se asume que el Estado asumirá el costo del despliegue y el costo de operación de la base de datos centralizada para el funcionamiento y la asignación de los Espacios en Blanco de Espectro en la bandas de radiodifusión por Televisión, por lo que no representará una CAPEX ni OPEX para los operadores móviles.

⁴³ Compound Annual Growth Rate

- En el CAPEX, se consideran los siguientes aspectos:
 - Cada estación base a instalar, independientemente de la frecuencia de operación, tiene un costo de USD150,000
 - Costo de espectro por el uso de bandas licenciadas, normalizado por población atendida.
- Para el OPEX, se consideran los siguientes aspectos:
 - Costo de operación y mantenimiento por cada estación base: USD 6,000 anuales.
 - Pago de Canon de Espectro Radioeléctrico, normalizado por área a cubrir, en base al Decreto Supremo N° 024-2016-MTC.
 - Costo de puntos de venta y marketing.
- Se considera una tasa de retorno o costo de oportunidad de 8.34% [106]:

En base a dichos supuestos, se realizó el siguiente análisis:

3.6.1.1. Estimación de la cantidad de estaciones base radioeléctricas:

Se realizó la estimación de infraestructura móvil a desplegar por los operadores en base a los enfoques de cobertura y capacidad, para cada año del horizonte de evaluación, tal como se esquematiza en el siguiente gráfico:

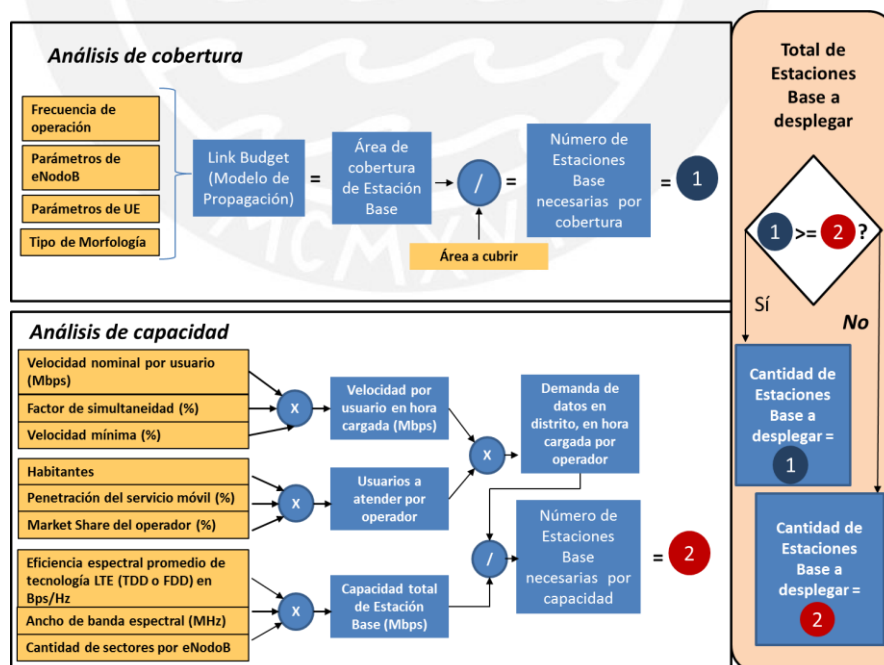


Figura 3.9. Algoritmo de estimación de infraestructura móvil.

Fuente: Elaboración Propia en base a [107]

Aplicando el algoritmo presentado en la figura anterior (el cual fue adaptado del capítulo de dimensionamiento de [107]) para cada año del horizonte de evaluación, se obtiene que los operadores móviles deben desplegar la siguiente cantidad de infraestructura móvil en cada escenario de evaluación:

Tabla 3.3. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz, sin compartición de infraestructura

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador A	5	5	5	5	5	7	11	15	22	33
Operador B	5	5	5	5	5	6	9	13	20	29
Incremental_A	0	0	0	0	0	2	4	4	7	11
Incremental_B	0	0	0	0	0	1	3	4	7	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando la banda de 700 MHz, sin compartición de infraestructura

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador A	7	7	7	7	7	7	11	15	22	33
Operador B	7	7	7	7	7	7	9	13	20	29
Incremental_A	0	0	0	0	0	0	4	4	7	11
Incremental_B	0	0	0	0	0	0	2	4	7	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5. Cantidad de eNodosB a desplegar por operador, utilizando la banda de 2.3 GHz, sin compartición de infraestructura

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador A	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Operador B	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Incremental_A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incremental_B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.6. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando Espacios en Blanco de Espectro en la banda de 470 MHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
eNodoB Compartidos entre ambos operadores	5	5	5	7	10	14	21	30	44	65
Incremental	0	0	0	2	3	4	7	9	14	21

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.7. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando la banda de 700 MHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
eNodoB										
Compartidos entre ambos operadores	7	7	7	7	10	14	21	30	44	65
Incremental	0	0	0	0	3	4	7	9	14	21

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.8. Cantidad de eNodosB a desplegar entre ambos operadores, utilizando la banda de 2.3 GHz y compartición de infraestructura activa con espectro compartido.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
eNodoB										
Compartidos entre ambos operadores	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Incremental	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1.2. Estimación de costos de inversión y costos de operación y mantenimiento

Costo de inversión CAPEX:

Para el CAPEX, se consideraron los siguientes costos:

- El costo de eNODOB con 3 sectores es de s/. 510 000 (USD 150,000 a s/.3.4 por 1 USD) en donde el 60% de dicho costo refiere al costo de infraestructura pasiva y el 40% a infraestructura activa [108].

- Se consideró que el costo por la licencia del espectro radioeléctrico para las bandas de 700 MHz y 2.3 GHz, normalizado por la población a atender es el siguiente:

Tabla 3.9. Costo a pagar por espectro radioeléctrico licenciado

<i>Banda de Espectro</i>	<i>Ancho de Banda (MHz)</i>	<i>Pago Realizado (USD)</i>	<i>Población Perú 2015</i>	<i>USD/MHz/pop</i>	<i>Población en distrito</i>	<i>Costo de espectro por población en distrito (USD)</i>	<i>Costo de espectro por población en distrito (s/.)</i>
470 MHz	5	0	0	0	5116	0	0
700 MHz	30	303,737,941.3	31,151,643	0.325010082	5116	49,882.5	169,600.7
2.3 GHz	22	3,900,000	31,151,643	0.005690638	5116	640.5	2,177.7

Fuente: Elaboración Propia

Para la normalización, se utilizó el precio promedio pagado por dichas bandas de espectro en sus procesos de subasta en el Perú, para lo cual para los 30 MHz pagados para la banda de 700 MHz, se pagó un precio promedio de USD 303,737,941.3 y para la banda de 2.3 GHz, como dicha banda se asignó a solicitud de parte, se tomó de referencia el monto pagado por Yota del Perú para los 22 MHz asignados en la banda de 2.6 GHz (USD 3,900,000).

Costo de Operación OPEX:

- Se consideró un costo por punto de venta en el distrito de evaluación de s/.2000 mensuales, con una tasa de crecimiento anual de 3%.
- Se considera costos fijos por la operación y mantenimiento de las estaciones base LTE de s/.20,400 anuales (USD 6000, a S/.3.4 por 1 USD) [108].
- Se consideró que se pagará un canon radioeléctrico anual en base al criterio estipulado en el Decreto Supremo N°024-2016-MTC , ajustado al área geográfica a ser atendida en el distrito, de acuerdo con el siguiente cuadro,

para el año 0, con un incremento del 1.62% anual en base al crecimiento de la Unidad impositiva Tributaria⁴⁴:

Tabla 3.10. Cálculo de canon radioeléctrico

Parámetro	470 MHz	700 MHz	2.3 GHz
CAB (Coeficiente de Ancho de Banda)	10	10	10
CA (Coeficiente de área)	0.02286688	0.02286683	0.02286683
UIT (Unidad Impositiva Tributaria)	4050	4050	4050
NF (Número de canales o sub-bandas de frecuencias asignados)	1	1	1
CPB (coeficiente de ponderación por bandas de frecuencia)	1	1	0.6
CPZ (coeficiente de ponderación por zonas)	0.25	1	1
Cálculo de canon radioeléctrico (s/.)	231.53	926.11	555.66

Fuente: Elaboración Propia

Costos Totales

Con estos supuestos, y utilizando un Costo de Oportunidad de Capital de 8.34% [106], se calcula el valor presente del CAPEX y OPEX en un horizonte de 10 años, a realizar por los operadores para cada uno de las alternativas analizadas⁴⁵:

⁴⁴ La tasa de crecimiento se estimó en base a la evolución de la unidad impositiva tributaria desde el año 2007 al año 2017. Datos extraídos de: <http://www.sunat.gob.pe/indicestajas/uit.html>. Último acceso: 31 de enero de 2017.

⁴⁵ El detalle de los flujos de caja se encuentran en el Anexo I de la presente tesis.

Tabla 3.11. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador A

Banda de operación	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro)	700 MHz	2.3 GHz
CAPEX (s/.)	-6,824,488	-7,635,630	-64,262,178
OPEX (s/.)	-1,482,029.65	-1,648,062.90	-17,168,485.00
Total (s/.)	-8,306,517	-9,283,692	-81,430,663

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.12. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador B

Banda de operación	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro)	700 MHz	2.3 GHz
CAPEX (s/.)	-6,185,893	-7,011,602	-64,262,178
OPEX (s/.)	-1,368,162.52	-1,546,811.06	-17,168,485.00
Total (s/.)	-7,554,055	-8,558,413	-81,430,663

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.13. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador A

Banda de operación	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro)	700 MHz	2.3 GHz
CAPEX (s/.)	-6,003,715	-6,376,406	-32,131,089
OPEX (s/.)	-1,317,689.21	-1,372,309.81	-8,673,403.98
Total (s/.)	-7,321,404	-7,748,716	-40,804,493

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.14. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador B

Banda de operación	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro)	700 MHz	2.3 GHz
CAPEX (s/.)	-6,003,715	-6,376,406	-32,131,089
OPEX (s/.)	-1,317,689.21	-1,372,309.81	-8,673,403.98
Total (s/.)	-7,321,404	-7,748,716	-40,804,493

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1.3. Ahorros estimados

En base a los costos calculados en la sección previa, se calculan los ahorros que se obtienen de comparar los escenarios descritos en la **Tabla 3.2** del presente capítulo:

Tabla 3.15. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador A

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 700 MHz	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 2.3 GHz
Ahorro en CAPEX (s/.)	811,142	57,437,690
Ahorro en OPEX (s/.)	166,033.25	15,686,455.35
Ahorro Total (s/.)	977,175	73,124,145
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar Espacios en Blanco de Espectro sin uso compartido de infraestructura activa	11.8%	880%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.16. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura para el operador B

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 700 MHz	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 2.3 GHz
Ahorro en CAPEX (s/.)	825,709	58,076,285
Ahorro en OPEX (s/.)	178,648.54	15,800,322.47
Ahorro Total (s/.)	1,004,357	73,876,607
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar Espacios en Blanco de Espectro sin uso compartido de infraestructura activa	13%	978%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.17. Ahorros en el despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador A

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 700 MHz	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 2.3 GHz
Ahorro en CAPEX (s/.)	372,691	26,127,374
Ahorro en OPEX (s/.)	54,621	7,355,715
Ahorro Total (s/.)	427,312	33,483,089
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar Espacios en Blanco de Espectro con uso compartido de infraestructura activa y espectro compartido	6%	457%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.18. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido para el operador B

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 700 MHz	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) vs 2.3 GHz
Ahorro en CAPEX (s/.)	372,691	26,127,374
Ahorro en OPEX (s/.)	54,621	7,355,715
Ahorro Total (s/.)	427,312	33,483,089
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar infraestructura utilizando Espacios en Blanco de Espectro (470 MHz) con uso compartido de infraestructura activa y espectro compartido	6%	457%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.19. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido versus Despliegue de infraestructura móvil sin uso compartido, para el operador A

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) con compartición activa vs 470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) sin compartición	700 MHz con compartición activa vs 700 MHz sin compartición	2.3 GHz con compartición activa vs 2.3 GHz sin compartición
Ahorro en CAPEX (s/.)	820,773	1,259,224	32,131,089
Ahorro en OPEX (s/.)	164,340	275,753	8,495,081
Ahorro Total (s/.)	985,113	1,534,977	40,626,170
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar infraestructura con uso compartido de infraestructura activa y espectro compartido	11.9%	16.5%	49.9%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.20. Ahorros en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido versus Despliegue de infraestructura móvil sin uso compartido, para el operador B

Bandas de espectro	470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) con compartición activa vs 470 MHz (Espacio en Blanco de Espectro) sin compartición	700 MHz con compartición activa vs 700 MHz sin compartición	2.3 GHz con compartición activa vs 2.3 GHz sin compartición
Ahorro en CAPEX (s/.)	182,178	635,196	32,131,089
Ahorro en OPEX (s/.)	50,473	174,501	8,495,081
Ahorro Total (s/.)	232,652	809,697	40,626,170
% de Ahorro con respecto al costo de desplegar infraestructura con uso compartido de infraestructura activa y espectro compartido (s/.)	3.08%	9.5%	49.9%

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1.4 Conclusiones del caso de Estudio 1

- El uso de Espacios en Blanco de Espectro, en particular el uso de la banda de 470 MHz, reduce el CAPEX y OPEX en el despliegue de infraestructura móvil, en todos los casos analizados, debido a 2 factores: las características de propagación de las bandas bajas permite desplegar un menor número de estaciones base para cubrir las necesidades de cobertura y, al utilizar el espectro de forma oportunista se evita realizar un CAPEX adicional por la adjudicación de espectro radioeléctrico. Así, el operador A ahorra un 11.8% al desplegar infraestructura utilizando los Espacios en Blanco de Espectro en comparación a utilizar la banda de 700 MHz, y el operador B ahorra un 13%.
- Cabe mencionar que en todos los casos, el utilizar los Espacios en Blanco de Espectro con o sin MOCN, con los considerando del caso de estudio, siempre resultará en un ahorro en CAPEX y OPEX comparando a los escenarios en donde se utiliza la banda de 700 MHz y 2.3 GHz.

- Utilizando la banda de 2.3 GHz, en todos los casos analizados, se incurren en los mayores costos, toda vez que las características de propagación de la misma hacen que se necesite un número elevado de infraestructura a desplegar para cubrir el área objetiva del caso de estudio. En ese sentido, la banda de 2.3 GHz es la alternativa más cara de utilizar en el presente caso de estudio.
- Para el caso de estudio, se encontró que el uso de la compartición activa con espectro compartido es una opción que presenta ahorros adicionales en comparación a desplegar infraestructura sin compartición activa, independientemente de la banda de operación. Así, para la banda de 470 MHz, el operador A” presenta ahorros del 11.9%, 16.5% para la banda de 700 MHz y de 49.9% para la banda de 2.3 GHz. Por su lado, el operador B presenta ahorros del 3.08% con respecto a desplegar infraestructura propia sin compartición para la banda de 470 MHz, 9.5% de ahorros para la banda de 700 MHz y de 49.9% para la banda de 2.3 GHz.
- En particular, se observó que se incurre en menores costos en caso se decida utilizar un esquema de uso de Espacios en Blanco de Espectro en paralelo con el esquema de compartición de infraestructura con espectro compartido, toda vez que se aprovecha las mejores características de la propagación en bandas bajas y además la compartición de los costos de CAPEX y OPEX entre ambos operadores. Así, de acuerdo a lo analizado, el operador “A” y el operador “B” de utilizar ambos esquemas de manera paralela, ahorraría el 6.0% del costo total de desplegar la infraestructura utilizando la banda de 700 MHz en paralelo con el esquema de compartición de infraestructura con espectro compartido, la cual es la segunda opción con menores costos en el despliegue de infraestructura móvil en el presente caso de estudio.
- No obstante, no siempre apostar por el uso de TV Espacios en Blanco de Espectro con MOCN representa ahorros para los operadores. En caso los costos del uso de TV Espacios en Blanco de Espectro + MOCN superen los costos de desplegar infraestructura por sí mismo, los operadores no presentarían incentivos a utilizar ambas modalidades de manera conjunta.

Esto ocurre en el caso del operador B, considerando todos los supuestos realizados, pero variando la velocidad nominal ofrecida a los usuarios de 0.256 Mbps inicial en el año 1 a 0.316 Mbps en el año 1 (manteniendo la tasa de

crecimiento anual de velocidad de bajada), este cambio impacta en la cantidad de EBC por capacidad necesarias, toda vez que la demanda de datos es mayor (se pasa de una demanda de datos en hora cargada en el año 1, a nivel distrital, de 14.46 Mbps para el operador A y de 9.65 Mbps para el operador B, a una demanda de datos a nivel distrital en hora cargada en el año 1, de 17.85 Mbps para el operador A y de 11.91 Mbps para el operador B).

Así, el operador B necesitaría desplegar 36 EBC al año 10 para atender su demanda de datos si despliega infraestructura propia, pero si despliega utilizando la compartición activa con espectro compartido (MOCN), compartiendo 5 MHz con el operador A (2.5 MHz para cada uno), en la práctica, tendría costos similares a desplegar 41 EBC por sí solo al año 10. Es decir, al aumentar la demanda de datos por encima del límite calculado, que para el caso de estudio presentado es de 0.316 Mbps al año 1 (equivalente a una demanda de datos en hora cargada de 25.2 Mbps para el operador A y de 16.81 Mbps para el operador B), manteniendo la tasa de crecimiento asumida en los supuestos, y al compartir infraestructura activa y el espectro, la cantidad de estaciones base necesarias utilizando el esquema de compartición MOCN es mayor a la cantidad de EBC sin compartición, por lo que pasado dicho límite, no sería recomendable utilizar ambos esquemas de manera paralela.

Esto se da debido a que el tráfico de datos del operador B es menor al tráfico de datos del operador A por lo que al compartir los costos de manera homogénea, el operador B incurre en costos adicionales dado que en la práctica, realiza inversiones que equivalen a atender parte de la demanda de datos del operador A, no obstante, el operador B requiere menor nivel de infraestructura dada su menor demanda de datos.

Lo anterior se muestra en el siguiente gráfico:

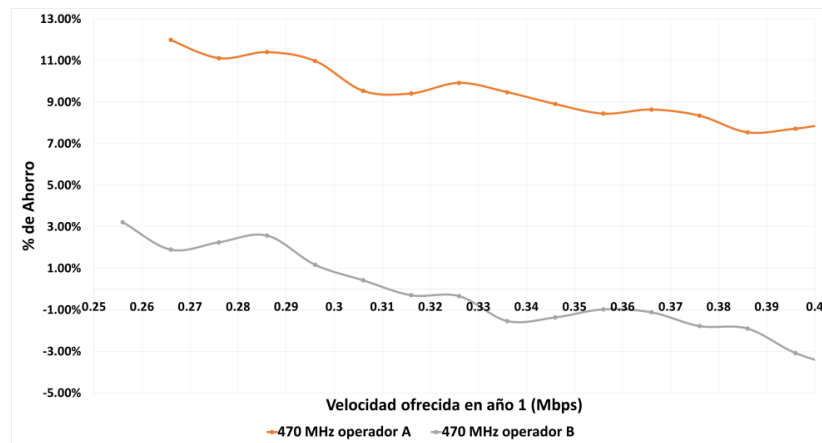


Figura 3.10.- Porcentaje de Ahorro del despliegue de infraestructura móvil utilizando compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue de infraestructura sin compartición, en función de la velocidad ofrecida en el año 1 del horizonte de evaluación

Fuente: Elaboración Propia

- Es preciso mencionar que el porcentaje de ahorro de los operadores también varía de acuerdo a la cantidad de espectro que puedan compartir. En efecto, en la siguiente figura se muestra como varía el porcentaje de ahorro de los operadores A y B al utilizar la compartición activa de infraestructura con espectro compartido en las bandas de 470 MHz y de 700 MHz, con respecto al despliegue de infraestructura sin compartición, manteniendo los demás supuestos mencionados en el presente caso de estudio:

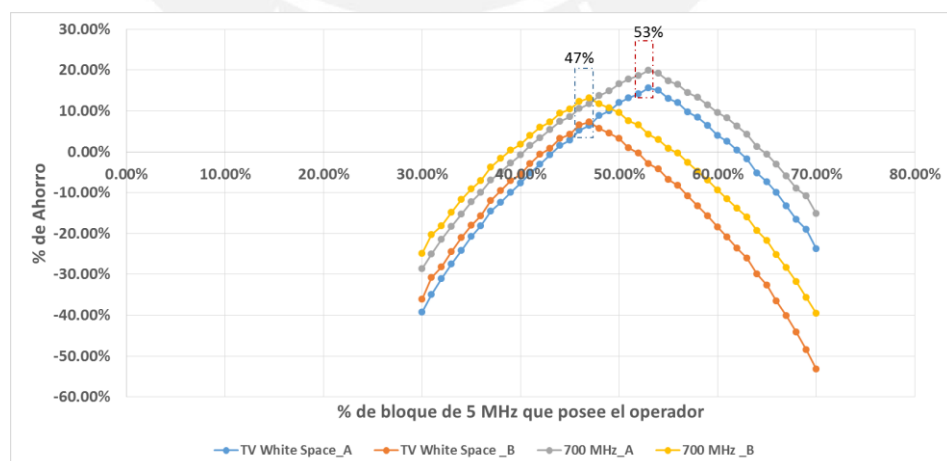


Figura 3.11.- Porcentaje de Ahorro del despliegue de infraestructura móvil utilizando compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue

de infraestructura sin compartición, en función del porcentaje de espectro asignado a cada operador, en las bandas de 470 MHz y de 700 MHz

Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica anterior, se muestra que el operador A incurre en ahorros cuando posee entre el 44% y el 62% del bloque de 5 MHz TDD en 470 MHz, mientras que el operador B presenta ahorros cuando posee entre el 49% y el 57% de bloque de 5 MHz en 470 MHz. En lo que respecta a la banda de 700 MHz, el operador A presentará ahorros cuando posea entre el 41% al 64% del bloque de 5 MHz TDD en dicha banda, y el operador B presentará ahorros cuando posea entre el 45% y 61% del espectro de 5 MHz en dicha banda. Esto indica que es importante que al momento de compartir espectro, los operadores dimensionen adecuadamente cuanto espectro compartirán en función de su demanda de datos, por lo que, en caso un operador con una demanda baja de datos, posea una cantidad de espectro mucha más elevada que un operador que posea alta demanda de datos, no se presentarán ahorros que permitan realizar sinergias entre ambos operadores al utilizar la compartición activa con espectro compartido para el despliegue de infraestructura móvil⁴⁶.

En efecto, se evidencia que dado los supuesto del caso de estudio 1, se observa que ambos operadores presentan el mayor porcentaje de ahorros, cuando el operador A, el cual cuenta con mayor demanda de datos que el operador B, posea 53% del espectro a compartir y el operador B, que cuenta con menor demanda de datos, cuente con 47% del espectro.

3.6.2. Caso de Estudio 2

En el presente casos de estudio se analizará el esquema OIMR, considerando los siguientes escenarios:

- **Escenario A:** OIMR despliega infraestructura, sin compartición activa ni compartición de espectro, solo compartición pasiva, para atender la demanda de datos a 2 operadores de red.

⁴⁶ El operador que posea mayor demanda de datos, naturalmente necesitará mayor espectro, de lo contrario la cantidad de estaciones base que necesitará para atender su demanda se disparará, aumentando los costos de CAPEX y OPEX de ambos operadores dado que comparten infraestructura.

- **Escenario B:** OIMR despliega infraestructura, con compartición activa y espectro compartido, para atender la demanda de datos a 2 operadores de red⁴⁷.

Adicionalmente, se consideran los siguientes supuestos⁴⁸:

- Se atiende la misma área geográfica que en el caso de estudio 1.
- La cantidad de habitantes del distrito se ajusta a 1000 en el año 1, con un crecimiento del 3% anual.
- La demanda de velocidad por usuario de los operadores A y B es la misma que la mencionada en el caso de estudio 1.
- El OIMR desplegará tecnología LTE-FDD con una eficiencia espectral de 1.74 bps/Hz [107].
- Se utiliza el mismo algoritmo presentado en el caso 1 para la estimación de infraestructura a desplegar por el OIMR, la cual deberá satisfacer las proyecciones de demanda de datos de los 2 operadores móviles y las necesidades de cobertura.
- Para el escenario A, el OIMR usará las frecuencias de los operadores A y B. En ese sentido, se asumirá que cada operador de red cuenta con 10 + 10 MHz en la banda de 700 MHz.
- Se asume que en el escenario B, se le asigna al OIMR 10 + 10 MHz en la banda de 700 MHz para que brinde servicios mayoristas en la zona de análisis. Dicho espectro es cedido por un operador de telecomunicaciones, el cual no pagará el canon radioeléctrico correspondiente por dicho espectro en dicha zona, y dicho pago de canon será asumido por el OIMR. Así, para el escenario B, se asumirá que el OIMR comparte el espectro con 2 operadores de red que le contratan el servicio en la zona de análisis (5+5 MHz para cada uno).

⁴⁷ El escenario en el cual el OIMR utiliza la compartición activa en la modalidad MORAN, es decir, comparte la infraestructura de radio acceso pero utiliza el espectro de cada operador móvil, no se incluyó en el presente caso de estudio, toda vez que, considerando los supuestos mencionados, los ahorros que presenta esta modalidad comparada con el escenario A, son prácticamente los mismos que los ahorros del escenario B respecto al escenario A. Esto debido a que para los supuestos del presente caso de estudio, la cantidad de infraestructura a desplegar viene determinada principalmente por el análisis de cobertura, no por el análisis de capacidad.

⁴⁸ Para mayor detalle de los supuestos y cálculos realizados del presente caso de estudio, ver Anexo II.

3.6.2.1. Estimación de la cantidad de estaciones base radioeléctricas

En base al algoritmo mostrado en el caso de estudio 1 de la presente sección, se calculó la cantidad de estaciones base radioeléctricas, tanto para el Escenario A como para el Escenario B. Cabe indicar que para ambos escenarios, se calculó que cada operador necesitaría 7 estaciones base radioeléctricas para atender la cobertura esperada y la demanda de usuarios.

Tabla 3.21. Cantidad de Estaciones Base a desplegar por el OIMR

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador A	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Operador B	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Incremental_A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incremental_B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

En ese sentido, se asume que el OIMR desplegará 7 estaciones base radioeléctricas en ambos escenarios, en donde en el Escenario A compartirá solamente la parte pasiva de las estaciones base, mientras que en el escenario B compartirá la parte pasiva, la parte activa y el espectro radioeléctrico.

3.6.2.2. Estimación de costos de inversión y costos de operación y mantenimiento

Costo de inversión CAPEX:

Para el escenario A, se considera que el OIMR comparte la infraestructura pasiva de las 7 estaciones base a desplegar. No obstante, no comparte la infraestructura activa, por lo que despliega equipamiento de radio diferente para cada operador, es decir, existirán 2 equipamientos de radio por cada site a desplegar.

Para el escenario B, se considera que el OIMR comparte la infraestructura pasiva, activa y el espectro radioeléctrico. Así, el OIMR desplegará una sola infraestructura civil y un solo equipamiento de radio acceso por cada estación base a desplegar.

Se consideró que el costo de eNODOB con 3 sectores es de s/. 510 000 (USD 150,000 a s/.3.4 por 1 USD) en donde el 60% de dicho costo refiere al costo de infraestructura pasiva y el 40% a infraestructura activa.

Costo de Operación OPEX:

Se consideró que el OIMR incurrirá en un gasto por la operación y mantenimiento de las estaciones base LTE de s/.20,400 anuales (USD 6000, a S/.3.4 por 1 USD) [108], por cada equipamiento de radio a desplegar.

Se considera que en el escenario B, el OIMR pagará un canon radioeléctrico anual por el uso del espectro radioeléctrico, ajustado al área geográfica a ser atendida en el distrito, de acuerdo con el siguiente cuadro, para el año 0, con un incremento del 1.62% anual⁴⁹:

Tabla 3.22. Cálculo del Canon radioeléctrico

Parámetros	Banda: 700 MHz
CAB (Coeficiente de Ancho de Banda)	40
CA (Coeficiente de área)	0.02286683
UIT (Unidad Impositiva Tributaria)	4050
NF (Número de canales o sub-bandas de frecuencias asignados)	1
CPB (coeficiente de ponderación por bandas de frecuencia)	1
CPZ (coeficiente de ponderación por zonas)	1
Canon radioeléctrico en año 0 (s/.)	3704.43

Fuente: Elaboración propia

⁴⁹ La tasa de crecimiento se estimó en base a la evolución de la unidad impositiva tributaria desde el año 2007 al año 2017. Datos extraídos de: <http://www.sunat.gob.pe/indicestajas/uit.html>. Último acceso: 31 de enero de 2017.

Con estos supuestos, y utilizando un Costo de Oportunidad de Capital de 8.34% [106], se calcula el valor presente del CAPEX y OPEX en un horizonte de 10 años, a realizar por los operadores para cada uno de las alternativas analizadas⁵⁰:

Tabla 3.23. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil sin uso de compartición de infraestructura activa, para el OIMR

Banda de Operación	700 MHz
CAPEX	-4,998,000
OPEX	-1,887,354.35
Total	-6,885,354

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.24. Costos en el Despliegue de infraestructura móvil con uso de compartición de infraestructura activa y espectro compartido, para el OIMR

Banda de operación	700 MHz
CAPEX	-3,570,000
OPEX	-970,162.83
Total	-4,540,163

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.3. Ahorros estimados

Considerando los costos calculados en la sección anterior, se calculó los ahorros que consigue el OIMR al desplegar infraestructura con compartición de infraestructura activa con espectro compartido:

Tabla 3.25. Ahorros OIMR utilizando MOCN vs sin compartición

<i>Banda de espectro</i>	700 MHz
<i>Ahorro en CAPEX (s/.)</i>	1,428,000
<i>Ahorro en OPEX (s/.)</i>	917,192
<i>Total de Ahorro (s/.)</i>	2,345,192
<i>% de Ahorro conseguido utilizando compartición activa con espectro compartido con respecto a inversión sin Compartición (s/.)</i>	34.1%

Fuente: Elaboración Propia

⁵⁰ El detalle del flujo de caja en el horizonte de 10 años, se encuentra en el Anexo 2 de la presente tesis.

3.6.2.4. Conclusiones de caso de estudio 2

- En base a los supuestos mencionados, se evidencia que los OIMR presentan un ahorro de 34.1% cuando despliegan infraestructura utilizando la compartición activa con espectro compartido, en comparación, de desplegar infraestructura móvil con compartición de sólo infraestructura pasiva.
- Dado lo anterior, un OIMR reduce los costos de su modelo de negocio al desplegar infraestructura utilizando la modalidad MOCN (compartición activa más compartición de espectro).
- No obstante, de manera similar al caso de estudio 1, no siempre la compartición activa de infraestructura con espectro compartido será una alternativa que genera ahorro al OIMR. En efecto, variando el ancho de banda disponible a compartir, se evidencia que por debajo de la compartición de 1.62 MHz, los OIMR incurren en mayores costos de despliegue en comparación del despliegue sin compartición activa (sólo compartición pasiva de infraestructura).

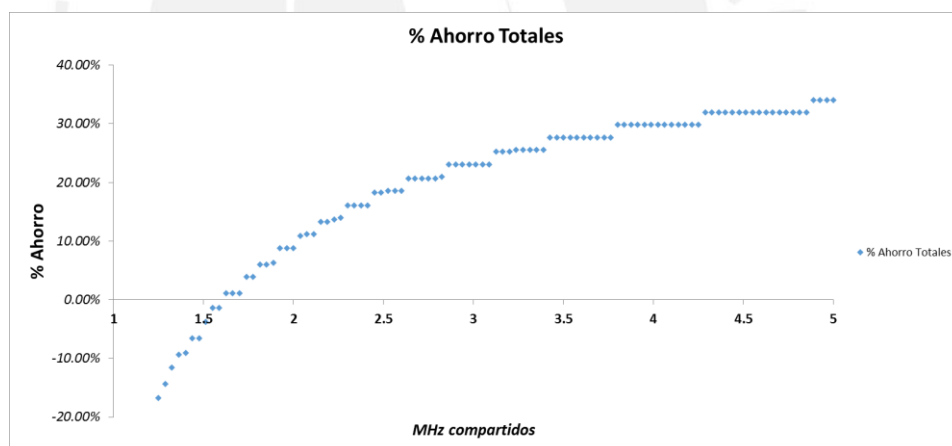


Figura 3.12.- Porcentaje de ahorro que presenta el OIMR al utilizar la compartición activa con espectro compartido con respecto al despliegue de infraestructura con compartición pasiva, en función de la cantidad de espectro a compartir.

Fuente: Elaboración Propia

- Cabe resaltar que el OIMR no incurre CAPEX adicional por el espectro, toda vez que se asume que un operador de red le cede el espectro a cambio de que sea el OIMR el que pague los montos por canon radioeléctrico equivalentes a la zona en donde el OIMR desplegará infraestructura y utilizará el espectro cedido. En ese esquema, el operador de red que cede el espectro obtendría un ahorro

de s/. 25,278.04 (en valor presente, utilizando un WACC de 8.34%) de ceder el uso de 10 + 10 MHz al OIMR en la zona geográfica del caso de estudio. No obstante dicho valor sería asumido por el OIMR, y aun así, los costos incurridos por el OIMR son menores a los del escenario A.

Tabla 3.26. Ahorros asumidos por el Operador de Telecomunicaciones que cede espectro al OIMR en la zona de análisis.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3764.3	3825.1	3887.0	3949.8	4013.6	4078.5	4144.4	4211.4	4279.5	4348.7
Valor Actual	S/.- 25,278.04								

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Resumen e ideas clave

Del análisis de las alternativas de compartición de espectro disponibles en la industria, y a manera de resumen se muestra el siguiente cuadro el cual busca esquematizar las principales características revisadas.

Tabla 3.27. Resumen de características técnicas y regulatorias de alternativas de compartición de espectro

Característica	Roaming Nacional	Compartición Activa con espectro compartido	Asignación Dinámica de Espectro	OMV	OIMR
Control de elementos de Red	Nulo	Alta pero no Total, dado que comparte físicamente los nodos con otro operador u operadores.	Total	Nulo (Modalidad revendedor) Total (Modalidad FULL OMV)	Total
Rapidez de implementación	Alta	Media	Baja	Baja	Alta
Adecuaciones a nivel de red necesarias	Baja	Alta	Media	Bajo	Media
Necesidad de cambios en normativa nacional	Sí, se podría incluir obligaciones de Roaming Nacional en contratos de concesión bajo criterios	Sí, la normativa de compartición de infraestructura debería contemplar la permisibilidad de la	Sí, en materia de control de interferencias, cambios en el esquema de derechos de propiedad del espectro y tipo	Esquema ya contemplado en normativa peruana vigente	Esquema ya contemplado en normativa

<p>referente a espectro radioeléctrico</p>	<p>específicos dictados por el regulador o regulación específica que obligue a todos o a los operadores con Poder Significativo de mercado a brindar el acceso al Roaming Nacional.</p>	<p>compartición activa de elementos de red, así como la compartición de espectro de manera expresa, no obstante, no se prohíbe expresamente por lo que se podría implementar por parte de los operadores.</p>	<p>de concesión, además de necesidad de implementación de sistema de base de datos georreferenciado de control de asignación del espectro. El ente administrador de espectro debe contar con un catastro detallado de las frecuencias asignadas a nivel nacional y de los parámetros de operación de las estaciones transmisoras, con el cual pueda estimar la cobertura de los servicios primarios sobre todo en las bandas asignadas a servicios de radiodifusión por Televisión.</p>	<p>peruana vigente</p>
<p>¿Requeriría aprobación previa del regulador para implementación?</p>	<p>Sí, para aprobar los contratos de acceso a Roaming Nacional en caso no exista mutuo acuerdo,</p>	<p>Sí, para aprobar los contratos de acceso a la capacidad OMV en caso no exista acuerdo.</p>	<p>No (pero sí requiere un control de interferencias por parte de la entidad supervisora del uso eficiente del espectro)</p>	<p>Sí, para aprobar los contratos de acceso a la capacidad OMV en caso no exista acuerdo.</p>
<p>Incremento en el uso eficiente del</p>	<p>Bajo, dado que solo en las zonas en donde un</p>	<p>Medio, dado que un bloque de espectro puede ser compartido</p>	<p>Alto, dado que se utiliza la capacidad inoperativa o sub</p>	<p>Medio, dado que los OMV utilizan el espectro y la</p>

espectro	operador no cuente con cobertura, el espectro y la infraestructura del operador visitado será utilizado por los usuarios del primero. Asimismo, en los intervalos de tiempo en el cual el espectro no es utilizado o es subutilizado, no es factible asignar los recursos a otros usuarios.	por más de un operador aumentando el nivel de uso (usuarios /MHz) del recurso escaso, sin embargo, en los intervalos de tiempo en el cual el espectro no es utilizado o es subutilizado, no es factible asignar los recursos a sistemas secundarios.	utilizada del espectro (hueco de espectro) asignado a un operador o a un servicio en particular (v.g. radiodifusión).	infraestructura de un OMR, sin embargo, en los intervalos de tiempo en el cual el espectro no es utilizado o es subutilizado, no es factible asignar los recursos a sistemas secundarios.	modificaciones propuestas, toda vez que cada OMR utilizará su espectro en la zona rural, aun cuando dada la reducida demanda de usuarios, sería más eficiente compartir espectro. Alto en caso el OMR comparta espectro, dado que puede contar con mayor cantidad de usuarios por MHz sin impactar la calidad de servicio debido a la baja demanda de usuarios en zonas rurales.
-----------------	---	--	---	---	---

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, es importante resaltar las principales ventajas y desventajas de las alternativas analizadas.

Tabla 3.28. Resumen de ventajas y desventajas de alternativas técnicas y regulatorias de alternativas de participación de espectro

	Roaming Nacional	Compartición activa con espectro compartido	Asignación dinámica del espectro	OMV	OMR
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de costos de despliegue de infraestructura para operadores pequeños, en caso se establezca obligación de Roaming Nacional a operadores con poder 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de CAPEX y OPEX en infraestructura civil, de radio y de espectro. Alto Control de elementos de red y control parcial de 	<ul style="list-style-type: none"> Permite incrementar el uso eficiente del espectro radioeléctrico de gran manera, sin necesidad de habilitar una mayor cantidad 	<ul style="list-style-type: none"> Permite el ingreso de operadores entrantes, con reducidos costos de inversión. Permite que el operador 	<ul style="list-style-type: none"> Permite aumentar la cobertura en zonas rurales, en donde un OMR no cuente con incentivos de desplegar infraestructura de manera

	<p>de mercado por un tiempo limitado por medio de una contraprestación económica orientada a costos y con un margen razonable de ganancia.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dado que principalmente, los operadores pequeños establecerán acuerdos de roaming en zonas rurales, dado que difícilmente desplegaran cobertura de manera inmediata en dichas zonas, el espectro del operador que ofrece el Roaming Nacional será compartido entre éste y el operador u operadores pequeños, aumentando el nivel de uso del mismo, y por ende su eficiencia. 	<p>espectro.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No requiere que ambos operadores cuenten con espectro. • Amplia la cobertura y capacidad del operador que acceda esta solución. • Permite compartir espectro de manera estática o dinámica, dado que el estándar lo permite. 	<p>de bandas de espectro.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite utilizar en el dominio del tiempo y frecuencias, segmentos de espectro no utilizados o subutilizados de bloques licenciados. • No es necesario realizar un rearming del espectro para que un sistema secundario pueda acceder al espectro. 	<p>de red que cuente con cierta holgura en su red, brinde servicios mayoristas a operadores entrantes y aumente el uso efectivo de su espectro asignado.</p>	<p>individual.</p> <ul style="list-style-type: none"> •
<p>Desventajas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Posible afectación a la competencia en caso no se establezcan criterios que incentiven el despliegue paulatino de infraestructura de los operadores entrantes. • El nivel de diferenciación es nula, 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponible desde 3G en adelante. • Requiere de adecuaciones de red a nivel de software y una mayor optimización de la misma. • Podría presentarse problemas de compatibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita del despliegue de una base de datos georeferenciada que permita identificar las asignaciones de espectro, la ubicación de los transmisores y de los receptores, la cual puede ser susceptible a ataques 	<ul style="list-style-type: none"> • Desincentiva a los operadores a desplegar su propia infraestructura. • Actualmente, dado la definición del OMR en la normativa peruana, un OMR que no cuente con 	<ul style="list-style-type: none"> • El OIMR no cuenta con espectro ni con usuarios finales, lo que limita su modelo de negocio. • Se necesita contar con un mínimo de usuarios esperados en la localidad atender que no necesariamente sea realizable

	<p>el operador que accede al servicio de Roaming Nacional de otro, depende totalmente de la calidad ofrecida por éste último.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es perceptible para el usuario final, toda vez que al realizar el Roaming Nacional, el usuario se desengancha totalmente de una red para conectarse a otra. 	<p>entre versiones y equipamientos de la red de los operadores y no ser factible en todos los casos.</p>	<p>informáticos en caso no se establezcan sistemas de seguridad (autenticación del acceso y encriptación de datos).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para una mejor asignación de espectro no utilizado o subutilizado, necesita una red de sensores que constantemente mida el uso del espectro en un amplio rango de frecuencias. • En caso no se establezca un sistema de medición del espectro, se necesitaría establecer zonas de exclusión para proteger a los sistemas primarios con servicios críticos como por ejemplo, seguridad nacional (radares, sistemas fijos por satélite, etc). 	<p>espectro en cierta banda no puede acceder a ella mediante la figura del OMV.</p>	<p>dado las limitaciones de población en zonas rurales. En ese sentido, para que el OIMR sea rentable, necesitaría de subsidios por parte del Estado.</p>
--	---	--	--	---	---

Fuente: Elaboración Propia

Dado lo analizado en el presente capítulo, cada alternativa revisada cuenta con diversas características técnicas y regulatorias que la convierten en potenciales soluciones a la problemática expuesta en el capítulo 1 de la presente tesis. De esta forma, cada una de ellas, considerando sus ventajas y desventajas analizadas, puede ser utilizada de manera conjunta o individual por los operadores de servicios inalámbricos en nuestro país, dependiendo de sus necesidades y problemáticas propias. Por otro lado, es necesario hacer una mención particular a la alternativa de asignación dinámica del espectro, toda vez que sería la opción que más adecuaciones normativas necesitaría para su implementación, sin embargo, es la alternativa que incrementaría en mayor grado el uso eficiente del espectro radioeléctrico, toda vez que, al utilizar el espectro subutilizado, permitiría que sistemas secundarios puedan acceder al recurso escaso, o inclusive, operadores que necesiten de espectro adicional, podría acceder a este de forma secundaria en bandas como la asignada a servicios de radiodifusión y aprovechar las características de propagación particular de las bandas bajas asignadas para este servicio.

Asimismo, de lo analizado en la sección de los casos de estudio, se evidencia que las alternativas de uso de Espacios en Blanco de Espectro, la compartición activa con espectro compartido y el esquema OIMR usando compartición activa con espectro compartido, son esquemas que brindan ahorros significativos en el despliegue y operación de infraestructura móvil a los operadores móviles. Estos ahorros, para los supuestos presentados en los casos de estudio se resumen en las siguientes gráficas para la banda de 470 MHz y de 700 MHz:

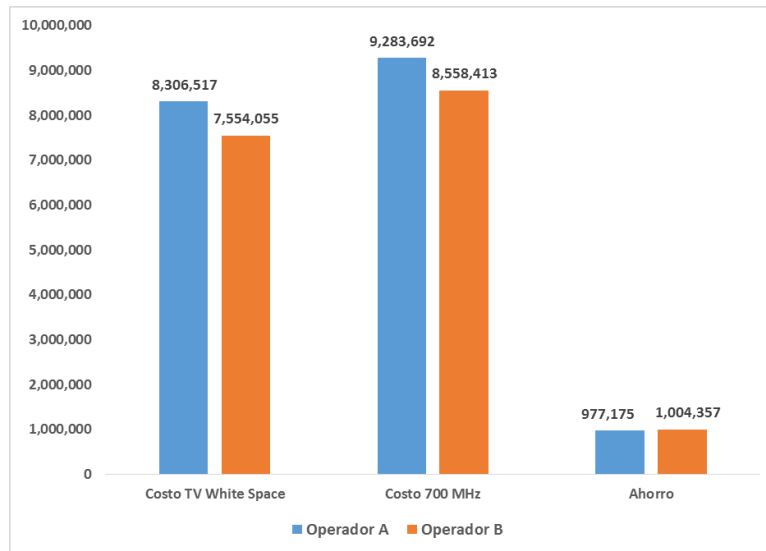


Figura 3.13.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura sin compartición activa

Fuente: Elaboración Propia

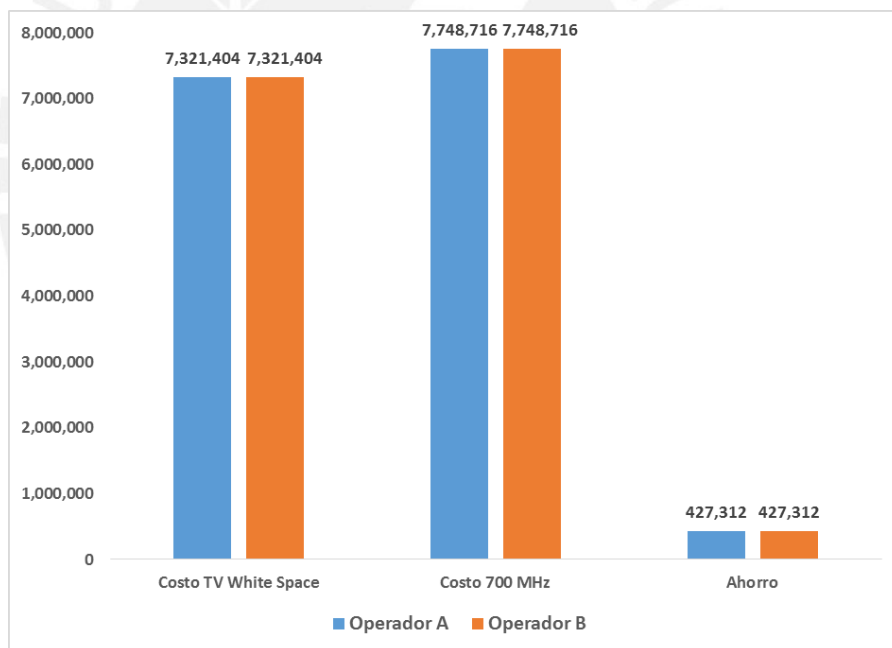


Figura 3.14.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura con compartición activa

Fuente: Elaboración Propia

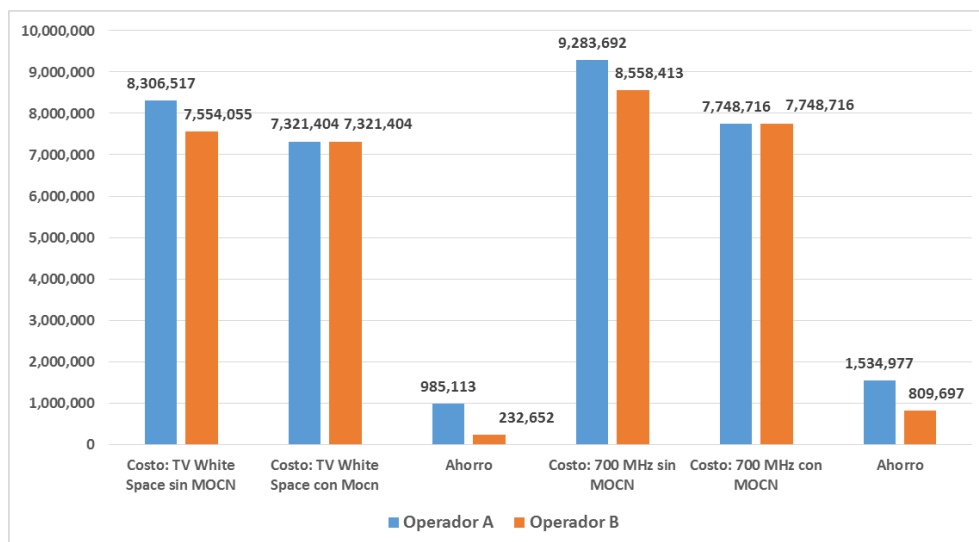


Figura 3.15.- Caso de estudio 1: Ahorros en el despliegue de infraestructura con compartición activa vs despliegue sin compartición activa

Fuente: Elaboración Propia

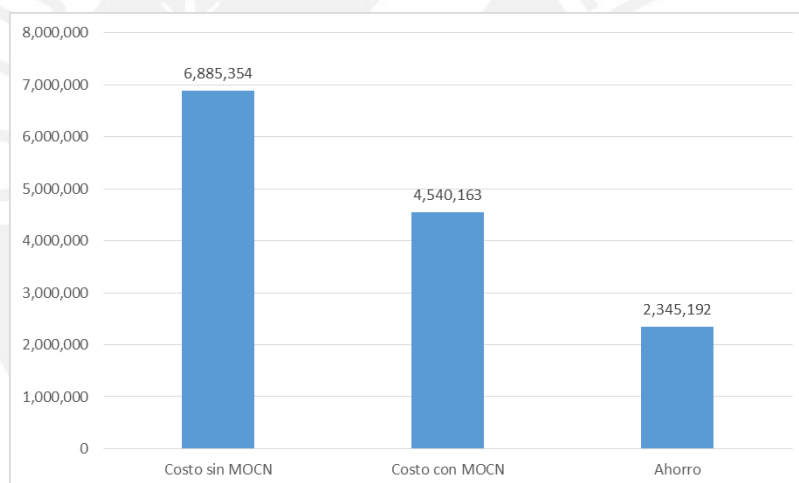


Figura 3.16.- Caso de estudio 2: Ahorros del OIMR en el despliegue de infraestructura con compartición activa vs despliegue sin compartición activa en la banda de 700 MHz

Fuente: Elaboración Propia

Dado lo expuesto, en el siguiente capítulo se desarrollan las propuestas de cambios normativos que se necesitarían para la implementación de las alternativas analizadas.

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE AJUSTES EN LA NORMATIVA PERUANA PARA FOMENTAR EL USO COMPARTIDO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

En el presente capítulo, se desarrollaran las propuestas que permitan implementar políticas que coadyuven al uso eficiente del espectro radioeléctrico, por medio de técnicas de uso compartido de espectro analizados en el capítulo 3 y considerando los puntos más relevantes encontrados en la experiencia internacional revisada en el capítulo 2 de la presente tesis.

Así, de lo revisado en el capítulo 3, cada alternativa tecnológica analizada cuenta con ventajas y desventajas técnicas como regulatorias. Asimismo, dichas alternativas han sido implementadas de diversas maneras en los países revisados en el capítulo 2, sin embargo, existen características similares que pueden ser tomados como referencia para el caso peruano.

Es importante mencionar que las propuestas mencionadas en el presente capítulo buscan ser una alternativa temporal y un punto inicial para atender las necesidades futuras de espectro de los operadores móviles y a su vez, ampliar la cobertura de los servicios móviles. Así, las propuesta a realizarse tienen como objetivo principal brindar facilidades para que los operadores móviles, establecidos y entrantes, puedan ampliar su cobertura y capacidad de sus redes en el corto plazo mediante las soluciones tecnológicas de compartición de espectro revisadas en la presente

tesis, y a su vez, brindar incentivos para el despliegue de infraestructura en el mediano y largo plazo.

En ese sentido, a continuación, se presentaran criterios a considerar para la implementación de las alternativas tecnológicas revisadas:

4.1. Propuesta para el Roaming Nacional

El Roaming Nacional es una alternativa tecnológica que coadyuva al uso eficiente del espectro, toda vez que usuarios de más de un operador podrían utilizar el espectro y la infraestructura del otro en zonas donde uno de ellos solo cuente con cobertura del servicio inalámbrico. Así mismo, para operadores entrantes o con limitada cobertura podría ser una alternativa altamente atractiva, toda vez que permitiría expandir su cobertura en aquellos lugares en donde no cuente con infraestructura desplegada.

En ese sentido, para el caso peruano y de acuerdo con la información pública referente a cobertura móvil del OSIPTEL, se evidencia que a diciembre del año 2016, los operadores móviles contaban con la siguiente distribución de coberturas a nivel nacional:

COBERTURA MÓVIL				
<i>Viettel</i>	<i>Claro</i>	<i>Entel</i>	<i>Movistar</i>	<i>Total CCPP</i>
Si	Si	Si	Si	2,802
Si	Si	Si	No	822
Si	Si	No	Si	2,927
Si	Si	No	No	2,546
Si	No	Si	Si	1,285
Si	No	Si	No	486
Si	No	No	Si	2,805
Si	No	No	No	5,075
No	Si	Si	Si	422
No	Si	Si	No	344
No	Si	No	Si	2,650
No	Si	No	No	9,887
No	No	Si	Si	256

<i>Operador</i>	<i>Centros Poblados con Cobertura Móvil</i>
Movistar	18,422
Claro	22,400
Entel	6,716
Viettel	18,748

No	No	Si	No	299
No	No	No	Si	5,275
No	No	No	No	62,046
Total CCPP con cobertura móvil				37,881

Figura 4.1. Cobertura móvil a diciembre de 2016

Fuente: <http://www2.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/#> a diciembre de 2016

De la figura anterior, se aprecia que existen centros poblados en donde sólo un operador cuenta con cobertura móvil y otro operador podría acceder a dicho espectro e infraestructura para ampliar su cobertura, convirtiendo a dicha modalidad altamente atractiva para operadores como Entel del Perú que cuentan con reducidos niveles de cobertura (6,716 Centros Poblados) a comparación de Claro (22,400), Movistar (18,422) o Viettel (18,748). Asimismo, inclusive los operadores que cuentan con un importante nivel de cobertura como Claro o Movistar pueden beneficiarse de la cobertura de otros operadores en lugares donde no cuenten con cobertura, como por ejemplo, de los 5,075 centros poblados en donde solamente el operador Viettel cuenta con cobertura, o el operador Viettel podría de acceder a los 9,887 centros poblados en donde sólo el operador Claro cuenta con cobertura o a las 5,275 centros poblados en donde sólo el operador Movistar cuenta con cobertura.

Por otro lado, es preciso mencionar que de acuerdo a lo revisado en la experiencia Internacional, en la región, países como Brasil y México, exigen a los operadores con poder significativo de mercado brindar acceso a Roaming Nacional a cualquier operador que no cuente con cobertura móvil en el área solicitada, sin embargo, existen casos como el colombiano en donde se obliga a todos los operadores a brindar acceso al Roaming Nacional bajo un régimen de tarifas tope reguladas. Asimismo, en el caso de algunos países europeos y en el caso de Chile y Argentina, se exige el acceso a Roaming Nacional como parte de las obligaciones de los contratos de concesión a aquellos operadores que se hayan adjudicado bloques de espectro radioeléctrico en una determinada banda (v.g. banda de 800 MHz, 700 MHz, etc).

En ese sentido, haciendo un análisis de las alternativas regulatorias existentes en otros países, vemos que para el caso peruano, la exigencia del Roaming Nacional a operadores con poder significativo de mercado sería no factible actualmente, toda

vez que, a la fecha, en el mercado móvil, no existen proveedores con poder significativo de mercado de acuerdo con el OSIPTEL [109]. Por otro lado, es importante resaltar que de acuerdo a la anterior, existen diversas localidades en las cuales un solo operador cuenta con cobertura móvil, por lo que el permitir el acceso al Roaming Nacional resultaría beneficioso para todos los operadores del sector.

En ese orden de ideas, se propone que el brindar acceso al Roaming Nacional sea obligatorio para todos los operadores móviles que cuenten con infraestructura propia en el mercado peruano. Para ello, el regulador podría brindar una regulación específica que obligue a los operadores a brindar dicha facilidad tecnológica considerando los siguientes aspectos:

- El acceso al Roaming Nacional debería contar con una tarifa de acceso regulada, que permita al operador que brinde acceso cubrir sus costos operativos y contar un margen razonable de ganancia.
- El Roaming Nacional se negociaría sólo entre operadores móviles que posean red propia.
- El acceso al Roaming Nacional sólo debe permitirse en aquellas zonas en donde el operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada y cuando el operador que brinde el acceso cuente con facilidades técnicas (disponibilidad en su red para acoger usuarios adicionales).
- El acceso al Roaming Nacional debe darse a partir del segundo año de empezada las operaciones comerciales por el operador dueño de la infraestructura, por zona o área geográfica declarada con cobertura móvil, de acuerdo con las consideraciones técnicas presentes en el Reglamento de Cobertura aprobado por el OSIPTEL por medio de la Resolución N°135-2013 CD/OSIPTEL y posteriormente modificado por la Resolución N°128-2014-CD/OSIPTEL. Es decir, se podría brindar acceso al Roaming Nacional, sólo en aquellas localidades que cuenten con al menos 2 años de cobertura móvil reportada por el operador. De esta forma, se busca proteger las inversiones del operador dueño de la infraestructura y que pueda rentabilizar su inversión de manera efectiva.
- La obligación de brindar el Roaming Nacional solo sería por un periodo de 5 años. Luego el operador dueño de la infraestructura podrá negociar libremente la renovación o terminación del contrato con el operador solicitante. De esta

forma, se brindan incentivos a la operadora solicitante a desplegar infraestructura propia de manera progresiva.

- El operador solicitante deberá cumplir con la siguiente obligación, para que pueda solicitar la solución tecnológica analizada:
 - Contar con cobertura móvil, con infraestructura propia, que permita cubrir por lo menos el 20% de la población nacional.

4.2. Propuesta para la compartición activa de infraestructura con espectro compartido

Con respecto a la compartición activa de infraestructura con espectro compartido (modalidad MOCN), la experiencia internacional revisada en el capítulo 2, muestra que dicha modalidad no suele exigirse en los países que poseen experiencias de este tipo, dado que la implementación técnica de dicha alternativa tecnológica requiere de optimizaciones de la red de los operadores que pueden impactar en la planificación y cobertura de sus redes ya desplegadas. Es así que la gran mayoría de experiencias revisadas, se basan en acuerdos privados entre operadores para el despliegue de redes nuevas, es decir, nuevos despliegues de infraestructura (v.g. experiencia europea) o en zonas en donde la carga de la red es menor como en las zonas rurales (v.g. caso Brasil). De esta manera, ambos operadores diseñan una red compartida que permita cubrir sus expectativas de demanda tanto en cobertura como en capacidad de forma que la optimización de la misma tenga el mínimo impacto una vez desplegada la red.

Por otro lado, en la normativa del Perú, no se contempla la obligatoriedad de que los operadores móviles compartan su infraestructura activa, por el contrario, mediante la Ley N° 28295, sólo se exige, que los operadores de telecomunicaciones compartan su infraestructura pasiva en caso exista una restricción a la construcción y/o instalación o falta de pronunciamiento de la autoridad. Asimismo, a través del decreto legislativo N°1019 “Ley de acceso a la infraestructura de los proveedores importantes de servicios públicos de telecomunicaciones”, se exige a los proveedores importantes de los servicios públicos de telecomunicaciones a compartir su infraestructura pasiva, sin embargo, para el mercado móvil, al cierre de la presente tesis, y tal como se mencionó previamente, el regulador no ha encontrado algún operador móvil que cumpla con la definición de proveedor importante, por lo que en el mercado de servicios móviles

ningún operador está obligado a compartir su infraestructura. Asimismo, no se conocen acuerdos privados entre operadores móviles de compartición de infraestructura activa en el mercado peruano, por lo que dicha modalidad no ha sido implementada a la fecha.

No obstante a lo anterior, las leyes antes mencionadas no prohíben expresamente la compartición de infraestructura activa, por lo que, en caso alguno de los operadores desee implementarla, podría hacerlo. Sin embargo, se considera necesario que el regulador y el concedente (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) tengan conocimiento sobre dichos acuerdos de compartición activa. Asimismo, cuando adicionalmente se comparta espectro, dicho acuerdo conllevaría a que un operador utilice el recurso escaso de otro operador, pudiendo establecerse que esta compartición se dé por asignaciones fijas de espectro o por asignaciones dinámicas, tal como se vio en el capítulo 3 de la presente tesis en donde se menciona que los estándares actuales del 3GPP permiten dichas modalidades de compartición activa de infraestructura con espectro compartido.

Sin perjuicio de lo anterior, los contratos de concesión del espectro radioeléctrico contemplan planes de cobertura y metas de uso de espectro, los cuales no deberían sufrir de modificaciones que permitan reducir las obligaciones a los operadores cuando ocurran acuerdos de compartición de infraestructura activa con espectro compartido, por el contrario, el concedente o regulador podría exigir obligaciones adicionales a los operadores que realizan un acuerdo de compartición en la modalidad MOCN en caso lo consideren pertinente.

Dado lo anterior, se propone las siguientes recomendaciones para los acuerdos de compartición de infraestructura en la modalidad MOCN:

- No se obligaría a brindar acceso a la infraestructura activa a los operadores móviles en la modalidad MOCN, las mismas serían acuerdos privados entre operadores móviles.
- Los acuerdos deben pasar por la revisión del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el OSIPTEL con el fin de verificar las condiciones de dichos acuerdos y que los mismos no afecten la libre y leal competencia, ni las obligaciones de cobertura y metas de uso de espectro estipulados en los contratos de concesión del operador del bloque de espectro que van a compartir.
- Los operadores brindaran información detallada al regulador y al concedente sobre los nodos compartidos y la modalidad de espectro compartido (fijo o

dinámico) y que zonas geográficas abarcaría la modalidad de compartición activa acordada.

- En caso que el regulador detecte un posible impacto a la libre y leal competencia, podría negar la permisibilidad de dicho acuerdo o podrá exigir obligaciones adicionales a los operadores que tengan como objetivo no mermar la competencia en el sector. Algunas de las condiciones adicionales que podría exigir el regulador serían:
 - El acceso a infraestructura pasiva de las estaciones base compartidas por los operadores, a cualquier otro operador que necesite de dicha infraestructura.
 - El espectro a compartir entre operadores no debe producir una disparidad elevada de asignación de espectro entre los operadores. En ese sentido, se recomienda que el regulador evalúe el porcentaje máximo que pueda compartirse caso por caso. Sin perjuicio de ello, y dado lo visto en el caso de estudio 1, en donde se evidencia que para los supuestos presentados, en promedio, los operadores móviles presentarán incentivos a compartir su espectro e infraestructura activa, cuando posean entre el 40% y el 60% del total del espectro de una banda a compartir, se propone que dicho porcentaje no exceda el 50% del bloque de espectro adjudicado por el operador que compartirá el mismo. Por ejemplo, en caso un operador posea 40 MHz en determinada banda, solo podrá compartir hasta 20 MHz de su espectro. Esto con la finalidad de evitar que de manera ex ante, dos o más operadores se coludan y sólo uno pujan por un bloque de espectro para que de manera ex post, pueda acceder a éste en la modalidad de compartición de infraestructura con espectro compartido⁵¹.
 - La cantidad de nodos a compartir podría limitarse a un porcentaje específico (v.g. no debe ser mayor al 30% de los nodos desplegados a nivel nacional.) Esto con la finalidad de evitar que por ejemplo, los dos operadores más importantes del mercado móvil puedan realizar acuerdos en donde compartan gran porcentaje de su infraestructura y como consecuencia les permita aumentar su poder de mercado en forma significativa en detrimento de la competencia.

⁵¹ Cabe indicar que en una configuración FDD, con 20 MHz (10 + 10 MHz), sería factible brindar velocidades picos teóricas de 75 Mbps con una configuración de 2 x 2 MIMO, siendo una configuración óptima para brindar servicios móviles avanzados

- En caso que el acuerdo de compartición tenga como objetivo cumplir con las obligaciones de cobertura de alguna banda de espectro, se podría evaluar ampliar las obligaciones de cobertura de dichos operadores. Por ejemplo, en caso algún operador desee cumplir con sus obligaciones de cobertura de una banda alta, utilizando la infraestructura y espectro de otro operador en una banda baja, se debería evaluar la permisibilidad de dicha solicitud y si esta figura es dable en nuestro actual marco legal. Sin perjuicio de ello, en caso se permita dicha figura, y tal como se mencionó anteriormente, se podría evaluar ampliar las obligaciones de cobertura del operador con la finalidad de incentivar que el operador realice un monto similar de inversiones comparadas a la opción de desplegar por el mismo la infraestructura.

4.3. Propuesta para los operadores de infraestructura móvil rural

Con respecto a los operadores de infraestructura móvil rural (OIMR), esta modalidad de negocio no ha sido del todo explorada en nuestro país. En efecto, a febrero de 2017, sólo existían tres (3) OIMR inscritos en el registro correspondiente. Asimismo, el proyecto TUCAN 3G revisado en el capítulo 3 de la presente tesis, recomendó que en la mayoría de localidades, y dado el modelo de negocio del OIMR que se basa principalmente en el alquiler de infraestructura pasiva y activa de infraestructura móvil, sería necesario la subvención del Estado para hacer rentables las inversiones de los OIMR en localidades con menos de 1000 habitantes. En ese sentido, considerando que la gran mayoría de localidad rurales en el Perú cuenta con menos de 1000 habitantes y con la finalidad de que los OIMR puedan contar con una mayor versatilidad al momento de rentabilizar su modelo de negocio se propone los siguientes cambios al esquema de regulatorio actual:

- Permitir que un OIMR posea espectro (propio o alquilado) y comercialice sus servicios de manera mayorista, similar al proyecto de red compartida del gobierno mexicano para la banda de 700 MHZ. De esta manera, el OIMR desplegaría infraestructura propia en zonas rurales, tendría espectro radioeléctrico y lo compartiría entre los operadores que acceden a su red. Así, el OIMR ofrecería capacidad de voz y/o datos a operadores de telecomunicaciones en dichas zonas (v.g. minutos o Megabytes por mes), manteniéndose la obligatoriedad de acceder a los servicios del OIMR en caso los OMR no cuenten con presencia en aquellas localidades. La ventaja de

permitir que los OIMR cuenten con espectro, sería permitir el despliegue de un solo equipamiento de radio acceso, que permita atender a más de un operador, evitando desplegar un equipamiento de radio por cada operador en el emplazamiento del OIMR. Para conseguir espectro radioeléctrico para los OIMR, se propone que el Estado brinde incentivos a los operadores para que los mismos cedan a los OIMR, en las zonas rurales y de interés social, porciones reducidas espectro a cambio de reducciones en el pago del canon del espectro radioeléctrico, reducción en el pago por aporte al FITEC, o algún tipo de incentivo similar.

- Asimismo, y tal como lo indica el estudio del proyecto TUCAN 3G mencionado en el punto 3 de la presente tesis, se propone que el Estado realice proyectos rurales que contemplen subsidios a los OIMR con la finalidad que sea rentable, en un tiempo de recuperación razonable, desplegar infraestructura en localidades con menos de 1000 habitantes, sobre todo en zonas de selva, en donde el estudio indica que el CAPEX y OPEX es más elevado, debido al difícil acceso a dichas zonas.

4.4. Propuesta para los operadores móviles virtuales

Para el caso de los operadores móviles virtuales, la Ley N°30083 y su reglamento define a un OMV como aquel operador móvil que se encuentre registrado en el registro de OMV respectivo y que no cuente con espectro radioeléctrico en ninguna banda. Lo anterior impide que por ejemplo, un operador móvil con red que cuente con espectro sólo en la banda de 700 MHz y 1900 MHz, pueda acceder al espectro en la banda de 1.7/2.1 GHz en la modalidad de OMV, limitando las opciones del operador de red que cuente con espectro y capacidad disponible en la banda de 1.7/2,1 GHz de brindar acceso a otros operadores sin espectro en dicha banda. En ese sentido, se recomienda lo siguiente:

- Adecuar la definición del OMV en la Ley 30083 y su reglamento con la finalidad de permitir que se pueda considerar como Operador Móvil Virtual en una determinada banda, a cualquier operador que no disponga de espectro propia en dicha banda. De esta forma, operadores de red que no cuenten con espectro en una determinada banda podrían operar como OMV en dicha banda.

- La obligatoriedad de brindar acceso a los OMV seguiría como tal, en donde en caso existe facilidades técnicas el OMR debe de brindar acceso al OMV solicitante.
- Asimismo, en el caso que un operador de red pretenda operar como OMV en una banda en particular en donde no cuente con espectro, debe cumplir con las obligaciones regulatorias de calidad, atención al usuario y demás regulaciones exigidas en la normativa peruana respecto a su condición de Operador de Red. De esta manera, se brinda incentivos a que solo en casos específicos, los operadores de red accedan a esta modalidad y prefieran tener control de su propia red y de su propio espectro.

Cabe resaltar que en comparación con la modalidad MOCN, el operador que acceda al espectro del operador de red bajo la modalidad de OMV en la modalidad de reventa, no contará con control de los elementos de red de acceso que sí contaría en la modalidad MOCN. Sin embargo, sí podría aumentar su capacidad de red y número de usuarios potenciales de manera temporal y mientras no disponga de espectro propio adicional, al contar con recursos adicionales no asegurados. Además de que se mejoraría el uso eficiente del espectro, toda vez que se tendría una mayor cantidad de usuarios por MHz.

4.5. Propuesta para la asignación dinámica de espectro

Con respecto a la asignación dinámica de espectro, la revisión de la literatura revisada en el capítulo 1 y la experiencia internacional revisada en el capítulo 2 de la presente tesis, muestran que es importante considerar los siguientes aspectos para la implementación de alguna normativa que permita dicha solución tecnológica, a saber:

- Administrador del espectro: contar con base de datos centralizada y detallada de la asignación espectral en las diversas bandas asignadas.
- Definición de bandas de espectro sujetas a ser utilizadas mediante dicha alternativa tecnológica. Esto debe ser especificado en el plan nacional de frecuencias del país.
- Contar con zonas de exclusión definidas por potencias mínimas aceptables en el contorno de dichas zonas de exclusión, y otras especificaciones técnicas que permitan proteger frente a interferencias a los sistemas de radiofrecuencias primarias en una banda de frecuencia específica (v.g. obligación de que los transmisores de los sistemas secundarios deban escuchar y sensar el medio

antes de operar en una frecuencia específica, o consultar con la base de datos centralizada sobre las frecuencias disponibles en un tiempo y espacio específico).

Cabe resaltar la experiencia específica de la Unión Europea y de los Estados Unidos, en donde se establecieron las regulaciones para permitir el uso de Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por televisión, la regulación LSA en la banda de 2.3 GHz en Europa y la regulación Three Tier Access en la banda de 3.5 GHz en los Estados Unidos.

En ese sentido, se recomienda que el Perú adopte un esquema regulatorio que permita el acceso dinámico del espectro considerando los siguientes aspectos basados en las experiencias regulatorias mencionadas:

- Permitir el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por TV bajo un esquema de base de datos centralizada que estime, en base a la información de los transmisores primarios, las coberturas de sus servicios y establezca zonas de exclusión y zonas de uso secundario. La base de datos centralizada estimará las coberturas de los servicios primarios y secundarios en base a modelos de propagación estandarizados y aceptados por organismos internacionales como la UIT, ETSI, FCC, Dynamic Spectrum Alliance, etc. Como ejemplo de los modelos de propagación a ser utilizados por la base de datos tenemos al Modelo Longley-Rice, recomendado por la Dynamic Spectrum Alliance [110].
- Para ello, se debe ajustar la atribución de las bandas para permitir, a título secundario, la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones. Lo anterior permitiría que operadores interesados en explotar dicha banda en forma secundaria, puedan ofrecer servicios inalámbricos móviles o fijos inalámbricos. Esto se debería realizar para las bandas comprendidas entre 470 MHz a 608 MHz y 614 MHz a 698 MHz, las mismas que en la actualidad, de acuerdo con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) se encuentran atribuidas para el servicio de Radiodifusión por Televisión [111].
- Con respecto a la base de datos centralizada de asignaciones de espectro, el ente administrador de espectro debe contar con un catastro detallado de la ubicación de los transmisores y los parámetros de operación de los mismos, con la finalidad de estimar la cobertura de los mismos y así establecer en que

zonas geográficas es factible utilizar las frecuencias asignadas para servicios de TV para otros servicios utilizando para ello tecnologías estandarizadas como el 802.22 o el 802.11af. Algunas necesidades adicionales de los sistemas de acceso a Espacios en Blanco de Espectro serían:

- Los transmisores primarios (estaciones de TV) deben a su vez conectarse a Internet para comunicarse con la base de datos centralizada e informar de sus parámetros de radio en tiempo real, así como la frecuencia asignada. Asimismo, deben de indicar su ubicación geo-referenciada.
- Los sistemas secundarios maestros, deben de contar con GPS y conectividad a Internet con la finalidad de contactarse con la base de datos centralizada para que se le brinde sus parámetros de operación. La conectividad a Internet puede ser a través de cualquier medio (Móvil, Fijo Alámbrico, Fijo Inalámbrico) y la consulta a la base de datos centralizada debe de ser cifrada, utilizando en los posible encriptación asimétrica. Asimismo, la exactitud de la ubicación geo-referenciada de los dispositivos secundarios debe de ser +/- 50 metros [110].
- Los sistemas secundarios maestros recibirán información de las frecuencias disponibles de la base de datos centralizadas. Para ello deberá autenticarse con un sistema de cifrado para evitar acceso no deseado a la base de datos.
- Los sistemas secundarios clientes o esclavos, reciben información de operación (frecuencias libres, potencias máximas de operación, etc) de los sistemas secundarios maestros. Asimismo, al menos una vez cada 60 segundos, es recomendable que el dispositivo cliente consulte con el dispositivo maestro y re-acredite sus parámetros de operación [110].
- Se debe establecer límites de potencia en el borde de cobertura de los servicios primarios para que la base de datos centralizados estime la cobertura y por ende la zona de exclusión en donde sólo el servicio primario puede operar (v.g. 41 dBuV/m, 17 dB SINR, -114dBm). Asimismo, se debe de considerar potencias máximas de operación en el borde de cobertura de los sistemas secundarios, con la finalidad de que, en zonas limítrofes con otro país, no se causen interferencias no deseadas.

- Previo a la regulación de acceso a Espacios en Blanco de Espectro en la banda de radiodifusión por Televisión, se recomienda establecer proyectos piloto a través del FITEL para realizar pruebas con las tecnologías 802.22 y 802.11af con la finalidad de probar sus funcionalidades técnicas, ventajas y desventajas. Asimismo, y dado que de acuerdo con las conclusiones del WRC del año 2015, en donde diversos países de la región 2 estuvieron de acuerdo en que el bloque de espectro de 470 a 698 MHz debe ser reconocido como banda IMT⁵² [8], se podría esperar que fabricantes de equipamiento móvil puedan poner a disposición equipamiento que utilice dichas bandas de forma secundaria y compitan con las tecnologías estandarizadas por la IEEE.

En particular, analizando las atribuciones de espectro de las bandas de 2.3 GHz (2300-2400 MHz) y de 3.5 GHz (Banda 42 del 3GPP, 3400 a 3600 MHz), en Perú, y de acuerdo con el PNAF, las mismas están atribuidas a título primario para prestar servicios de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico⁵³ y asignadas por concurso público en la provincia de Lima y Callao. Cabe indicar que para la banda de 2.3 GHz, se indica que la misma puede ser utilizada a título secundario para prestar servicios fijos privados en áreas rurales y lugares de preferente interés social a aquellos administrados que lo soliciten.

En ese sentido, a diferencia del caso europeo o norteamericano, en las cuales las bandas se encuentran asignadas de forma primaria para servicios de seguridad nacional y no para uso de servicios públicos de telecomunicaciones, en el caso peruano, no aplicaría una regulación del tipo LSA o Three Tier Access en dichas bandas. No obstante a ello, se debe evaluar el uso efectivo del espectro en dichas bandas y analizar si las mismas puedan ser revertidas al Estado para una futura licitación posterior.

Sin perjuicio de lo anterior, en un futuro, en caso se decida subastar algunas de estas bandas a nivel nacional para servicios públicos de telecomunicaciones, las mismas pueden contemplar alguna de las siguientes características de compartición de espectro de forma dinámica en base a la experiencia del LSA y Three Tier Access revisadas, como por ejemplo:

- Permitir que el operador asigne el espectro no utilizado en una zona geográfica a otro operador, sin ceder su titularidad, sólo el uso. Para ello, necesitaría

⁵² International Mobile Telecommunications

⁵³ Ver Notas P68 y P73 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)

desplegar un sistema centralizado de gestión de su espectro para poder tener un control dinámico del mismo.

- Permitir el uso de forma secundaria de usuarios no licenciados, aprovechando las futuras economías de escala que tendrá la banda de 3.5 GHz de este tipo de usuarios a mediano plazo dado el esquema regulatorio de los Estados Unidos para esta banda. Para ello, también es necesario contar con un sistema centralizado, que permita conocer en qué zonas la banda de 3.5 GHz está siendo utilizada por usuarios primarios, y que zonas no está siendo utilizada.

4.6. Resumen de propuestas revisadas

De lo revisado en el presente capítulo, se presentaron diversas propuestas a considerar para la implementación de las soluciones técnicas revisadas en la presente tesis, las cuales se resumen en el siguiente cuadro:

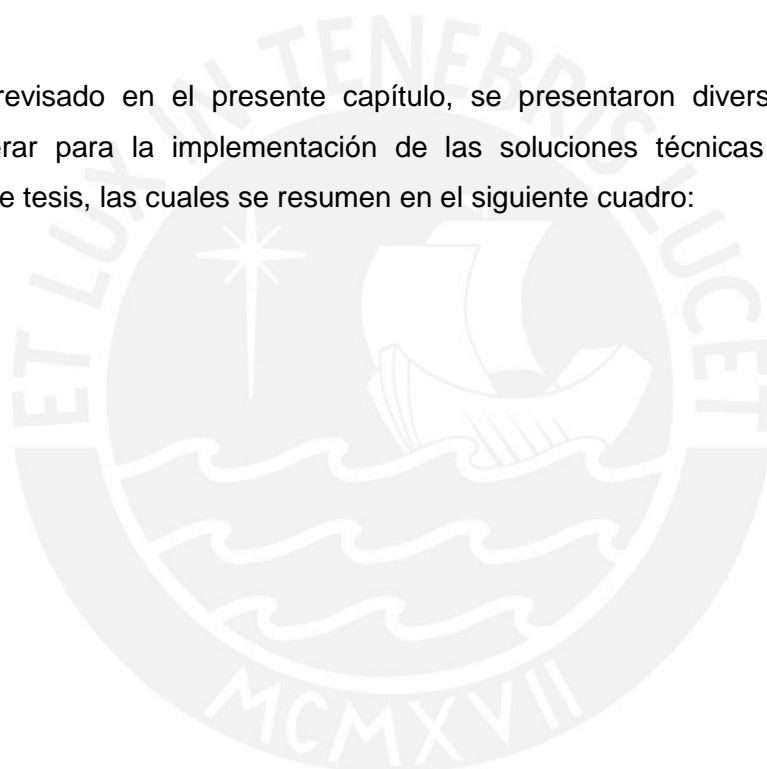


Tabla 4.1. Resumen de propuestas para la implementación de las alternativas tecnológicas exploradas de uso compartido de espectro

Alternativa Tecnológica de uso compartido de espectro	Propuesta de implementación	Criterios técnicos propuestos para implementación de la alternativa tecnológica
Roaming Nacional	Obligatorio para todos los operadores mediante regulación específica realizada por el regulador.	<ul style="list-style-type: none"> • Debe contar con una tarifa de acceso regulada, que permita al operador que brinde acceso cubrir sus costos operativos y contar un margen razonable de ganancia. • Se negociaría sólo entre operadores móviles que posean red propia. • Sólo debe permitirse en aquellas zonas en donde el operador solicitante no cuente con infraestructura desplegada y cuando el operador que brinde el acceso cuente con facilidades técnicas (disponibilidad en su red para acoger usuarios adicionales). • Debe darse a partir del segundo año de empezada las operaciones comerciales por el operador dueño de la infraestructura, por zona o área geográfica declarada con cobertura móvil, de acuerdo con las consideraciones técnicas presentes en el Reglamento de Cobertura aprobado por el OSIPTEL. • La obligación de brindar el Roaming Nacional solo sería por un periodo de 5 años. Luego el operador dueño de la infraestructura podrá negociar libremente la renovación o terminación del contrato con el operador solicitante. • El operador solicitante deberá cumplir con la siguiente obligación, para que pueda solicitar la solución tecnológica analizada:

<p>Compartición de infraestructura activa en la modalidad MOCN</p>	<p>Acuerdos entre operadores móviles, con autorización previa del regulador.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con cobertura móvil, con infraestructura propia, que permita cubrir por lo menos el 20% de la población nacional. • Los acuerdos deben pasar por la revisión del concedente y el regulador con el fin de verificar las condiciones de dichos acuerdos y que los mismos no afecten la libre y leal competencia, ni las obligaciones de cobertura y metas de uso de espectro estipulados en los contratos de concesión del operador del bloque de espectro que van a compartir. • Los operadores brindaran información detallada al regulador y al concedente sobre los nodos compartidos y la modalidad de espectro compartido (fijo o dinámico) y que zonas geográficas abarcaría la modalidad de compartición activa acordada. • En caso que el regulador detecte un posible impacto a la libre y leal competencia, podría negar la permisibilidad de dicho acuerdo o podrá exigir obligaciones adicionales a los operadores que tengan como objetivo no mermar la competencia en el sector. Algunas de las condiciones adicionales que podría exigir el regulador sería: <ul style="list-style-type: none"> ○ El acceso a infraestructura pasiva de las estaciones base compartidas por los operadores, a cualquier otro operador que necesite de dicha infraestructura. ○ Establecer un máximo de porcentaje de espectro a compartir por banda (v.g. compartir como máximo 50% de lo asignado en una banda en particular). ○ La cantidad de nodos a compartir podría limitarse a un porcentaje específico (v.g. no debe ser mayor al 30% de los nodos desplegados a nivel nacional.) ○ En caso que el acuerdo de compartición tenga como objetivo cumplir con las
--	--	---

	obligaciones de cobertura de alguna banda de espectro, se podría evaluar ampliar las obligaciones de cobertura de dichos operadores.		
Operador de Infraestructura Móvil Rural	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir que un OIMR posea espectro (propio o alquilado) y comercialice sus servicios de manera mayorista, similar al proyecto de red compartida del gobierno mexicano para la banda de 700 MHz. De esta manera, el OIMR desplegaría infraestructura propia en zonas rurales, tendría espectro radioeléctrico y lo compartiría entre los operadores que acceden a su red. • Para conseguir espectro radioeléctrico, se propone que el Estado brinde incentivos a los operadores de red para que los mismos cedan a los OIMR, en las zonas rurales y de interés social, porciones reducidas espectro a cambio de reducciones en el pago del canon del espectro radioeléctrico, reducción en el pago por aporte al FITEL, o algún tipo de incentivo similar. • Asimismo, y tal como lo indica el estudio del proyecto TUCAN 3G mencionado en el punto 3 de la presente tesis, se propone que el Estado realice proyectos rurales que contemplen subsidios a los OIMR con la finalidad que sea rentable, en un tiempo de recuperación razonable, desplegar infraestructura en localidades con menos de 1000 habitantes. 	Cambios en la Ley 30083 y su Reglamento.	
Operador Móvil	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuar la definición del OMV en la Ley 30083 y su reglamento con la finalidad de permitir que se pueda considerar como Operador Móvil Virtual en una determinada banda, a 	Cambios en la Ley 30083 y su	

Virtual	Reglamento.	<p>cualquier operador que no disponga de espectro propia en dicha banda.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La obligatoriedad de brindar acceso a los OMV seguiría como tal, en donde en caso existe facilidades técnicas el OMR debe de brindar acceso al OMV solicitante. • Asimismo, en el caso que un operador de red pretenda operar como OMV en una banda en particular en donde no cuente con espectro, debe cumplir con las obligaciones regulatorias de calidad, atención al usuario y demás regulaciones exigidas en la normativa peruana respecto a su condición de Operador de Red.
Asignación dinámica de espectro	Cambios en Plan Nacional de Atribución de Frecuencias y normativa específica establecida por concedente	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por TV bajo un esquema de base de datos centralizada que estime, en base a la información de los transmisores primarios, las coberturas de sus servicios y establezca zonas de exclusión y zonas de uso secundario. • En base a la experiencia internacional de los Estados Unidos y de Reino Unido, la base de datos centralizada debe ser operada y mantenida por un operador neutro (sin usuarios finales), que tenga la experiencia y el <i>know how</i> para el manejo de grandes base de datos en tiempo real, no obstante, es el Estado quien debe de financiar la operación y mantenimiento de dicha base de datos centralizada. • Se debe ajustar la atribución de las bandas para permitir, a título secundario la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones para las bandas 470 a 608 MHz y 614 a 698 MHz. • Con respecto a la base de datos centralizada de asignaciones de espectro, el ente

	<p>administrador de espectro debe contar con un catastro detallado de la ubicación de los transmisores, los parámetros de operación con la finalidad de estimar la cobertura de los mismos y así establecer en que zonas geográficas es factible utilizar las frecuencias asignadas para servicios de TV para otros servicios inalámbricos de banda ancha.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Algunas necesidades adicionales de los sistemas de acceso a Espacios en Blanco de Espectro a considerar son: <ul style="list-style-type: none"> ○ Los transmisores primarios (estaciones de TV) deben a su vez conectarse a Internet para comunicarse con la base de datos centralizada e informar de sus parámetros de radio en tiempo real, así como la frecuencia asignada. Asimismo, deben de indicar su ubicación geo-referenciada. ○ Los sistemas secundarios maestros, deben de contar con GPS y conectividad a Internet con la finalidad de contactarse con la base de datos centralizada para que se le brinde sus parámetros de operación. La conectividad a Internet puede ser a través de cualquier medio (Móvil, Fijo Alámbrico, Fijo Inalámbrico) y la consulta a la base de datos centralizada debe de ser cifrada, utilizando en los posible encriptación asimétrica. Asimismo, la exactitud de la ubicación geo-referenciada de los dispositivos secundarios debe de ser +/- 50 metros [110]. ○ Los sistemas secundarios maestros recibirán información de las frecuencias disponibles de la base de datos centralizadas. Para ello deberá autenticarse con un sistema de cifrado para evitar acceso no deseado a la base de datos. ○ Los sistemas secundarios clientes o esclavos, reciben información de operación 	
--	---	--

	<p>(frecuencias libres, potencias máximas de operación, etc) de los sistemas secundarios maestros. Asimismo, al menos una vez cada 60 segundos, es recomendable que el dispositivo cliente consulte con el dispositivo maestro y re-acredite sus parámetros de operación [110].</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Se debe establecer límites de potencia en el borde de cobertura de los servicios primarios para que la base de datos centralizados estime la cobertura y por ende la zona de exclusión en donde sólo el servicio primario puede operar (v.g. 41 dBuV/m, 17 dB SINR, -114dBm). Asimismo, se debe de considerar potencias máximas de operación en el borde de cobertura de los sistemas secundarios, con la finalidad de que, en zonas limítrofes con otro país, no se causen interferencias no deseadas. ● Previo a la regulación de acceso a Espacios en Blanco de Espectro en la banda de radiodifusión por Televisión, se recomienda establecer proyectos piloto a través del FITEL para realizar pruebas con las tecnologías 802.22, 802.11af u otras. 	
--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

Dada las propuestas para el establecimientos de las alternativas tecnológicas analizadas en el presente capítulo, se considera importante analizar la temporalidad del establecimiento de las mismas, y esquematizar, como punto de partida, una escalera de tiempo de implementación de las soluciones propuestas, con la finalidad de permitir un tiempo de adecuación y de adopción de dichas alternativas técnicas y regulatorias por parte de los operadores, tomando en cuenta el impacto que las mismas podrían tener en el mercado.

Así, se estima conveniente que una regulación que contemple el Roaming Nacional, dado su reducida complejidad y fácil implementación, y dada las ventajas que se pueden obtener de establecer la obligación de brindar acceso a dicha solución tecnológica a los operadores móviles, sea la que se establezca en un primer momento y en el corto plazo, seguida por un regulación que incentive la compartición activa de infraestructura bajo cualquier modalidad (MOCN o MORAN) bajo la aprobación previa del regulador, el cual podrá establecer condiciones adicionales para la aprobación de la misma en caso se evidencia afectación al mercado.

Asimismo, se estima conveniente implementar las propuestas referentes a los Operadores Móviles Virtuales y Operadores de Infraestructura Rural en el mediano plazo, esto con la finalidad de observar la evolución del mercado de los OMV y OIMR con las condiciones actuales, dado que dichos modelos de negocio aún no se explotan con mucho énfasis en el mercado peruano.

Dado sus requerimientos técnicos y complejidad, se considera oportuno que a mediano o largo plazo se establezcan las regulaciones de acceso a los Espacios en Blanco de Espectro de las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por televisión con la finalidad de obtener el mayor provecho a estas bandas. Asimismo, se propone a largo plazo, establecer mecanismos de asignación de espectro que en la mayoría de bandas de espectro a concursarse, se contemple escenarios de compartición dinámica de espectro, siguiendo modelos regulatorios como el que se está implementando en la banda de 3.5 GHz en los Estados Unidos, en donde existe 3 niveles de acceso al espectro en dicha banda, maximizando el uso del recurso escaso. Así, en el mediano o largo plazo, licitaciones de espectro en bandas como la de 3.5 GHz o la banda de 600 MHz, podrían ser licitadas utilizando dicho paradigma.

Sin perjuicio de lo anterior, en el corto plazo, sí se considera necesario que el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL), realice proyectos pilotos en

coordinación con entidades internacionales líderes en programas de asignación dinámica de espectro, con la finalidad de probar tecnologías emergentes como la 802.22 y la 802.11.af las cuales pueden beneficiar en el corto plazo a zonas rurales sin incurrir en altos costos por uso de espectro radioeléctrico licenciado, dado que operan de manera secundaria y dinámica en las bandas asignadas al servicio de radiodifusión por televisión.

Dado lo anteriormente dicho, se propone una escalera de tiempo referencial para la implementación de las soluciones técnicas de compartición de espectro revisadas en el presente capítulo, resaltando que la misma busca esquematizar la adopción de las mismas, no obstante, la implementación de éstas pueden traspalarse en el tiempo, a decisión del ente administrador del espectro de nuestro país.

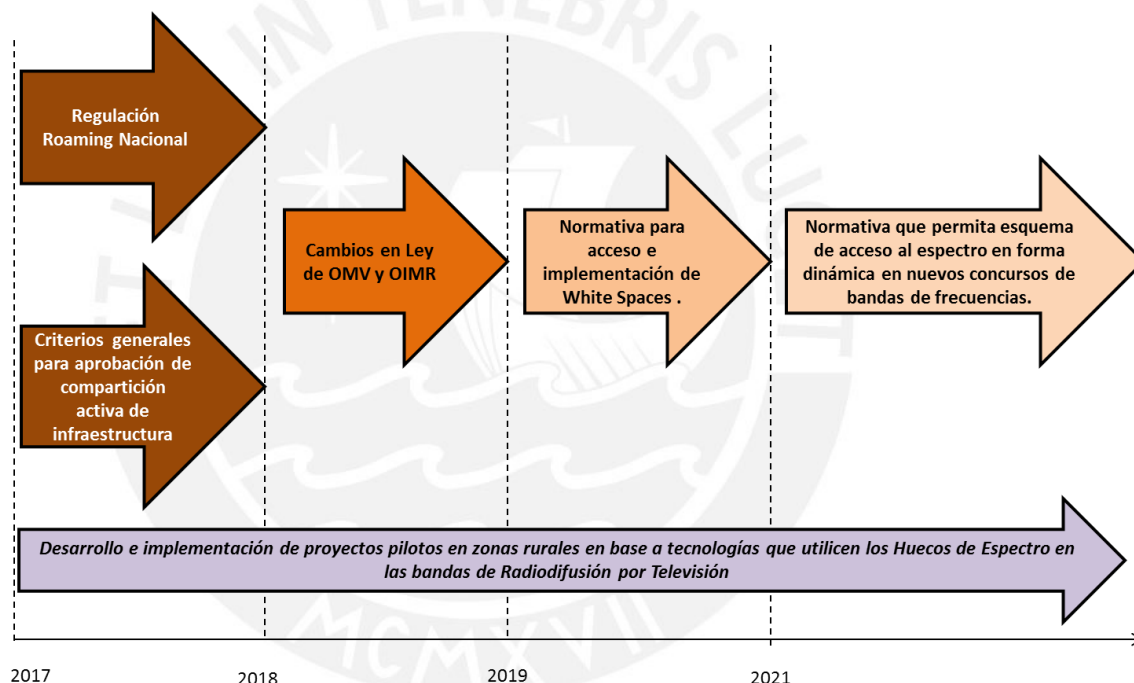


Figura 4.2. Recomendación de tiempo de adopción de propuestas planteadas

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo revisado en los capítulo 1 al 4 de la presente tesis, se tiene las siguientes conclusiones:

- Dada la creciente demanda de datos móviles y de dispositivos conectados a internet móvil, cada vez se vuelve máspreciado y de mayor necesidad contar con mayor infraestructura y mayor espectro para ser utilizado para brindar servicios inalámbricos de banda ancha. En vista de ello, y dado la necesidad de los operadores inalámbricos de contar con mayor cantidad de espectro y en vista de que en muchos casos, no es factible con contar con espectro adicional en un concurso público en el corto plazo, se cuenta con diversas soluciones tecnológicas tales como Roaming Nacional, Compartición Activa de Infraestructura con Espectro Compartido, Operadores Móviles Virtuales, Operadores de Infraestructura Móvil Rural y Asignación Dinámica de Espectro, las cuales son analizadas en la presente tesis y que permiten compartir el uso del espectro radioeléctrico aumentando su uso eficiente. Asimismo, dichas soluciones tecnológicas de compartición de espectro, permiten a los operadores atender la creciente demanda de datos que experimentan en sus redes, así como a ampliar la cobertura de sus redes.
- De las alternativas tecnológicas mencionadas, la asignación dinámica del espectro es un paradigma alternativo al modelo actual, el uso exclusivo del espectro para un solo operador y un solo servicio, el cual, de acuerdo a estudios desarrollados en países como Estados Unidos y Malasia, los cuales se mencionan en el capítulo 2 de la presente tesis, no permite que el espectro radioeléctrico sea utilizado de la manera más eficiente. En ese sentido, la asignación dinámica del espectro, se basa en el reconocimiento de bloques de espectro no utilizados o sub utilizados (Espacios en Blanco de Espectro) y su posterior uso por parte de servicios inalámbricos secundarios, sin interferir a los sistemas inalámbricos primarios que son los que deben de contar con protección contra interferencias.
- De acuerdo a lo revisado en el capítulo 2, son diversos los países que han implementado mediante regulaciones específicas o mediante acuerdos comerciales privados alguna de las alternativas tecnológicas de compartición de espectro analizadas en la presente tesis. Así, la implementación de las mismas

es técnicamente factible, no obstante los criterios de implementación de dichas soluciones se deben adaptar a las condiciones del mercado de cada país.

- De lo analizado en la sección de los casos de estudio en el capítulo 3, se evidencia que las alternativas de uso de Espacios en Blanco de Espectro, la compartición activa con espectro compartido y el esquema OIMR usando compartición activa con espectro compartido, son esquemas que brindan ahorros significativos en el despliegue y operación de infraestructura móvil a los operadores móviles y OIMRs, por lo que las mismas serían atractivas para el sector.
- En particular, para el caso de estudio 1, se observó que para los supuestos planteados, se consigue un mayor ahorro cuando los operadores utilizan los Espacios en Blanco de Espectro en conjunto con la compartición de infraestructura activa con espectro compartido, dado que despliegan una menor cantidad de infraestructura debido a las mejores características de propagación de las bandas bajas, el costo cero por adquisición del espectro radioeléctrico y la compartición del CAPEX y OPEX en el despliegue de infraestructura. Asimismo, se evidenció que la utilización de la banda de 700 MHz en conjunto con la compartición activa con compartición de espectro es la segunda mejor opción, dado que también presenta importantes ahorros, aunque menores que el uso de los Espacios en Blanco de Espectro en banda de 470 MHz. También, se evidenció que el uso de la banda de 2.3 GHz es la opción más cara de implementar infraestructura móvil, aun cuando se utilice la compartición activa con espectro compartido, dado que las características de propagación de las banda altas hacen necesario que se despliegue una mayor cantidad de infraestructura, aumentando el CAPEX y el OPEX considerablemente.
- Es preciso indicar, que también se identificaron algunas consideraciones que, de acuerdo a los supuestos presentados, hacen que dichas alternativas no sean del todo beneficiosas para alguno de los operadores, sobre todo, para aquel operador que atienda menor cantidad de tráfico comparado con su competidor. Así, para el caso 1, se observó que a medida que aumenta la demanda de datos de los operadores, existe un punto de quiebre en donde la compartición activa de infraestructura con espectro compartido ya no es atractiva, y es

conveniente desplegar infraestructura propia con espectro propio. Además, para el caso de estudio 1, se observó que la cantidad de espectro a compartir también es un aspecto sensible que los operadores deben de tomar en cuenta en caso decidan optar por la compartición activa con espectro compartido, dado que, en caso se asigne mayor espectro al operador que posea menos demanda de datos, dicha alternativa no será rentable para ambos operadores, toda vez que se necesitará mayor cantidad de infraestructura para atender la demanda de datos de ambos operadores, causando mayores costos debido a una ineficiente asignación de recursos de radio.

- En ese sentido, se observó que es necesario un correcto dimensionamiento del espectro a ser compartido entre ambos operadores y en lo posible, para alcanzar las mayores eficiencias, las demandas de datos de ambos operadores deben de ser similares para que los costos sean distribuidos de manera proporcional y eficientemente.
- Para el caso de estudio 2, se observó que el OIMR sí obtiene ahorros importantes utilizando el esquema en el cual se le cede espectro y despliega infraestructura utilizando la compartición activa con espectro compartido. No obstante, solo obtendrá ahorros en dicha modalidad cuando posea un mínimo de espectro a compartir, el cual depende de la demanda de datos a atender, de lo contrario, no le será atractiva dicha alternativa. Asimismo, la cesión de espectro por parte de un operador de red a un OIMR también se observó que es ventajosa para los primeros, dado que les permitiría prescindir del pago del canon radioeléctrico equivalente a las zonas en donde cede espectro al OIMR.
- De la experiencia internacional revisada en el capítulo 2 y del análisis de las soluciones tecnológicas y de los casos de estudio revisados en el capítulo 3, en el capítulo 4 se presentan propuestas técnicas y regulatorias para la implementación de las soluciones tecnológicas revisadas. Las mismas se resumen en la tabla 4.1. de la presente tesis. En particular, se resaltan las consideraciones técnicas de implementación de los Espacios en Blanco de Espectro y de la compartición de infraestructura activa con espectro compartido, dado que son alternativas tecnológicas muy poco adoptadas en la región, no obstante, presentan ahorros significativos a los operadores móviles y coadyuvan a una mejor utilización del espectro radioeléctrico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en vista a la creciente demanda de datos, de dispositivos conectados y de espectro radioeléctrico, las propuestas de implementación de las alternativas tecnológicas revisadas en la presente tesis, las cuales buscan coadyuvar a la mejora del uso eficiente del espectro a través de la compartición del mismo, sean analizadas por el ente administrador de espectro de nuestro país, con la finalidad de colaborar con el desarrollo del mercado móvil a través de modificaciones de las normas pertinentes y/o la promulgación de nuevas normas que faciliten la implementación de las alternativas y propuestas técnicas recomendadas.
- En particular, en base a lo presentado en el capítulo 4, se recomienda que cada una de las alternativas tecnológicas de compartición de espectro sea implementada, ya sea de forma obligatoria por todos los operadores móviles del sector, o mediante acuerdos privados entre operadores, tomando en consideración lo propuesto en el capítulo 4 de la presente tesis. En ese sentido, se recomienda que las mismas deben de cumplir criterios generales, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 4.1 de la presente tesis, y deben de contar con aprobación previa del regulador y del concedente de la concesión (para el caso peruano, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones). No obstante, la temporalidad del establecimiento de regulaciones que permitan o incentiven las soluciones de compartición de espectro propuestas es un punto importante de discusión, toda vez que es necesario establecer una escalera de tiempo de implementación de las soluciones propuestas, con la finalidad de permitir un tiempo de adecuación y de adopción de dichas alternativas técnicas y regulatorias por parte de los operadores y como estas impactan al mercado móvil.
- De esta forma, se recomienda que el administrador del espectro en el país analice la temporalidad (línea de tiempo) propuesta en la sección final del capítulo 4 para la adopción de las soluciones tecnológicas de compartición de espectro. Dicha propuesta de temporalidad busca ser un punto de partida que considere las adecuaciones que deberán hacer los operadores inalámbricos y los impactos que dichas soluciones técnicas puedan tener en el mercado móvil, no obstante, la misma puede ser ajustada de acuerdo a las consideraciones del ente administrador del espectro.

- Se recomienda que en futuras trabajos de investigación se exploren la implementación de proyectos pilotos de telecomunicaciones en zonas rurales con tecnologías de compartición de espectro utilizando los Espacios en Blanco de Espectro en la banda de radiodifusión por televisión. Lo anterior permitirá que evaluar de manera práctica dichas tecnologías y sus beneficios, así como utilizarlas como posibles sustitutos a tecnologías que utilizan espectro no licenciado en bandas más altas como el WI-FI, aprovechando así la mayor cobertura que se puede conseguir al utilizar bandas bajas y los menores costos al utilizar de forma secundaria el espectro sin interferir a los servicios primarios.
- El uso de bandas libres por parte de los operadores de telecomunicaciones como la banda de 5,8 GHz también será de gran utilidad para incrementar la velocidad de transmisión y dotar de más espectro disponible a los operadores. En ese sentido, el Estado debe de establecer reglas de uso justo del espectro entre las tecnologías que usan esta banda (v.g. WIFI y LTE) como por ejemplo regulaciones de “Escucha antes de operar” (Listen Before Talk) que ya se exigen en otras latitudes y están presentes dentro de los estándares del 3GPP desde la versión 13 (Modalidad LTE-Licensed Assisted Access). En ese sentido, se recomienda que en trabajos futuros se explore las principales características técnicas con las que deben de contar estas regulaciones de uso justo del espectro en bandas no licenciadas.
- Se recomienda que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones evalúe y actualice la actual metodología de supervisión del uso eficiente del espectro, en particular a lo correspondiente a la metodología de supervisión de las metas de uso del espectro radioeléctrico, la cual hasta la fecha se basa en la supervisión de la presencia de portadoras de radiofrecuencias de determinados anchos de banda estipulados en los contratos de concesión de los operadores dentro del área de concesión. Lo anterior, genera escenarios como por ejemplo, que un operador que tenga asignados 20 MHz de espectro en determinada banda, utilice 5 MHz de dicho espectro en una zona, 5 MHz en otra zona, y 10 MHz en otra zona, siendo la utilización real del espectro de 10 MHz y no los 20 MHz asignados, los cuales deben de ser utilizados en toda la zona de concesión del operador y en cada estación base radioeléctrica, considerando que tecnologías modernas como WCDMA y LTE tienen un re-uso unitario de frecuencias. En ese sentido, se observa que existen iniciativas tanto del Ministerio de

Transportes y Comunicaciones como del OSIPTEL que proponen ciertos criterios para actualizar la metodología para evaluar las metas de uso del espectro y por ende el uso eficiente del espectro, como por ejemplo emplear factores como Usuarios/MHz, Usuarios/MHz/Población, Usuarios/MHz/Km² la eficiencia espectral de la tecnología utilizada, entre otros. En ese sentido, se considera que dichos criterios son un buen punto de partida para una posterior actualización de la metodología de medición de las metas de uso del espectro radioeléctrico [112], [113].

- Asimismo, se recomienda que se revise el esquema de asignación del espectro a nivel nacional y de uso exclusivo que prominentemente ha tenido cabida en las diferentes licitaciones del espectro radioeléctrico en nuestro país. En ese sentido, se recomienda que futuros trabajos de investigación evalúen las ventajas y desventajas de asignar el espectro radioeléctrico a nivel regional o distrital, con la finalidad de que se incremente el uso eficiente del espectro radioeléctrico y no se asignen porciones del espectro en zonas en donde los operadores establecidos no tengan grandes incentivos a atender y por el contrario, sean más atractivos para operadores rurales entrantes u OIMRs.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index : Forecast and Methodology , 2015 – 2020," pp. 16–17, 2016.
- [2] Ericsson, "Mobility Report," no. June, pp. 10–11, 2016.
- [3] Union Internacional de Telecomunicaciones, "Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT," *Rep. ITU-R M.2290-0*, 2013.
- [4] OSIPTEL, "Líneas en servicio por modalidad y por empresa," *Indicadores del Servicio Móvil*, 2016. [Online]. Available: <https://www.osiptel.gob.pe/documentos/2-indicadores-del-servicio-movil>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [5] OSIPTEL, "Número de Teléfonos Móviles que accedieron a Internet Móvil, según modalidad contractual," 2016. [Online]. Available: <https://www.osiptel.gob.pe/articulo/62-suscripciones-de-internet-movil-segun-modalidad-contrac>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [6] OSIPTEL, "Boletín OSIPTEL Edición N° 15," 2016. [Online]. Available: http://www.osiptel.gob.pe/Archivos/Publicaciones/BoletinOSIPTEL_E15/boletinosiptel-e15.html#8. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [7] ITU, "World Radiocommunication Conference allocates spectrum for future innovation," 2015. [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2015/56.aspx#.V13xyLvhdIU. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [8] Association of Professional Wireless Production Technologies, "WRC 2015," 2015. [Online]. Available: <http://www.apwpt.org/history-of-events-2009-12/switzerland/wrc-2015/index.html>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [9] W. Webb, "On Using White Space Spectrum," *IEEE Commun. Mag.*, no. August, pp. 145–151, 2012.
- [10] M. N. Hamdy, "White Paper: Sharing an antenna doesn ' t mean giving up control," 2016. [Online]. Available: http://www.commscope.com/Antenna-Sharing/?utm_source=blog&utm_medium=socialmedia&utm_campaign=blogging. [Accessed: 29-Dec-2016].

- [11] T. Frisanco, P. Tafertshofer, and P. Lurin, "Infrastructure Sharing for Mobile Network Operators," *2008 International Conference on Information Networking*. pp. 1–5, 2007.
- [12] E. U. Agency and I. Security, "National Roaming for Resilience," 2013. [Online]. Available: <https://www.enisa.europa.eu/publications/national-roaming-for-resilience>. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [13] C. Barriga, M. Gavilano, and D. Argandoña, "Operadores Móviles Virtuales: Funcionamiento, Experiencia Internacional y Recomendaciones sobre Modificaciones Normativas necesarias para su eventual funcionamiento en el Perú," 2013. [Online]. Available: https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/par/documento-de-trabajo-n-15-operadores-moviles-vir/Informe_Final_OMVs_2013-VoBoL-web.pdf. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [14] "Ley N°30083, que establece medidas para fortalecer la competencia en el mercado de los servicios públicos móviles." 2013.
- [15] C. Liu, "Spectrum Sharing in Dynamic Spectrum Access Networks : WPE-II Written Report," 2009. [Online]. Available: http://repository.upenn.edu/cis_reports/907/. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [16] I. F. Akyildiz, W. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt generation / dynamic spectrum access / cognitive radio wireless networks : A survey," *Comput. Networks*, vol. 50, pp. 2127–2159, 2006.
- [17] G. Ghosh, P. Das, and S. Chatterjee, "Cognitive Radio And Dynamic Spectrum Access – A Study," *IJNGN*, vol. 6, no. 1, pp. 43–60, 2014.
- [18] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access," *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*, no. May, pp. 79–89, 2007.
- [19] S. K. SHARMA, "THESIS: INTERWEAVE/UNDERLAY COGNITIVE RADIO TECHNIQUES AND APPLICATIONS IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS," Université du Luxembourg, 2014.
- [20] F. Akhtar, M. Husain, and M. Reisslein, "White space : Definitional perspectives and their role in exploiting spectrum opportunities," *Telecomm. Policy*, vol. 40, pp. 319–331, 2016.

- [21] Yücek y Arslan, "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications," *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 11, no. 1, pp. 116–130, 2009.
- [22] S. Srinivasa and A. Goldsmith, "Breaking Spectrum Gridlock: With Cognitive Radios : An Information Theoretic Perspective," *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 5, pp. 894–914, 2009.
- [23] Lorenza Giupponi and Christian Ibarsed, "Cooperative Cognitive Systems," in *Cooperative Radio Systems*, INTECH, 2009, pp. 24–36.
- [24] C. R. Stevenson *et al.*, "IEEE 802 . 22 : The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard," *IEEE Communications Magazine*, no. January, pp. 130–138, 2009.
- [25] A. Khattab, "An Overview of IEEE Standardization Efforts for Cognitive Radio Networks," *Circuits and Systems (ISCAS) 2015 IEEE International Symposium*. pp. 982–985, 2015.
- [26] S. Filin, T. Baykas, H. Harada, F. Kojima, and H. Yano, "IEEE STANDARD 802.19.1 FOR TV WHITE SPACE COEXISTENCE," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 3, pp. 22–26, 2016.
- [27] Q. Technologies, "LTE in Unlicensed Spectrum : Harmonious Coexistence with Wi-Fi," 2014. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/documents/lte-unlicensed-coexistence-whitepaper>. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [28] IEEE, "IEEE 802.22™-2011 STANDARD FOR WIRELESS REGIONAL AREA NETWORKS IN TV WHITESPACES COMPLETED," 2011. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/news/2011/802.22.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [29] D. Lekomtcev and R. Maršálek, "Comparison of 802.11af and 802.22 standards – physical layer and cognitive functionality," *Elektrorevue*, vol. 3, no. 2, pp. 12–18, 2012.
- [30] Q. Technologies, "Making best use of unlicensed spectrum for 1000x Redefining Everything," 2015. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/documents/making-best-use-unlicensed-spectrum-presentation>. [Accessed: 29-Dec-2016].

- [31] Q. Technologies, "Progress on LAA and its relationship to LTE-U and MulteFire™," 2016. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/documents/progress-laa-and-its-relationship-lte-u-and-multefire>. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [32] J. C. MAZA, "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRIVATIZACIÓN DE LAS EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS 1991-2000," *Gestión en el Tercer Milenio*, vol. 9, no. 5, 2002.
- [33] OSIPTEL, "Resolución N°019-97-CCOIII," 1997. [Online]. Available: https://www.osiptel.gob.pe/Archivos/info_empresas/Solucion_controverias/002-95-1P.pdf. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [34] OSIPTEL, "Contratos de Acceso a Operadores Móviles Virtuales," 2016. [Online]. Available: <https://www.osiptel.gob.pe/documentos/contratos-acceso-operadores-moviles-virtuales>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [35] MTC, "REGISTRO VIGENTE DE OPERADORES DE INFRAESTRUCTURA MÓVIL RURAL," 2017. [Online]. Available: http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/registros/documentos/Movil_Rural/OMR.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [36] OSIPTEL, "Proyecto Normativo que aprueba las Normas Complementarias aplicables a las Facilidades de Red de los Operadores de Infraestructura Móvil Rural," 2016. [Online]. Available: <http://www.osiptel.gob.pe/articulo/res156-2016-cd>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [37] OSIPTEL, "Normas Complementarias aplicables a las facilidades de Red de los Operadores de Infraestructura Móvil Rural," 2017. [Online]. Available: <http://www.osiptel.gob.pe/articulo/res059-2017-cd>. [Accessed: 28-Apr-2017].
- [38] Telenor, "Telenor obtains new 4G licence," 2012. [Online]. Available: <https://www.telenor.com/media/press-releases/2012/telenor-obtains-new-4g-licence/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [39] C. International, "Infrastructure and network sharing by mobile operators," 2016. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [40] Telecoms, "TeliaSonera, DNA to share network in rural Finland," 2014. [Online]. Available: <http://telecoms.com/278851/teliasonera-dna-to-share->

network-in-rural-finland/. [Accessed: 30-Dec-2016].

- [41] J. Markendahl, A. Ghanbari, and B. G. Mölleryd, "NETWORK COOPERATION BETWEEN MOBILE OPERATORS-WHY AND HOW COMPETITORS COOPERATE ?," *IMP Conference 2103*. Atlanta, pp. 1–22, 2013.
- [42] C. International, "Swedish 1800 MHz auction awards 2x35 MHz for €149.5m," 2013. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [43] I. News, "Telstra, Hutchison ink US\$450m 3G network sharing deal," 2004. [Online]. Available: <http://www.itnews.com.au/news/telstra-hutchison-ink-us450m-3g-network-sharing-deal-15974>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [44] C. Consulting, "ICT and Broadcasting Infrastructure Sharing: Phase II Report," 2016. [Online]. Available: [http://www.crasa.org/common_up/crasa-setup/13-05-2016_Infrastructure Sharing Guidelines.pdf](http://www.crasa.org/common_up/crasa-setup/13-05-2016_Infrastructure%20Sharing%20Guidelines.pdf). [Accessed: 01-Feb-2017].
- [45] C. International, "LATAM: Infrastructure and network sharing by mobile operators," 2016. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [46] M. Time, "Cade aprova acordo de compartilhamento de rede entre TIM, Vivo e Oi," 2015. [Online]. Available: <http://www.mobiletime.com.br/14/12/2015/cade-aprova-acordo-de-compartilhamento-de-rede-entre-tim-vivo-e-oi/424623/news.aspx>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [47] S. de C. y T. de México, "Red Compartida," 2016. [Online]. Available: <http://www.sct.gob.mx/red-compartida/inversionistas-1.html>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [48] S. de C. y T. de México, "Anexo 6 de las Bases del Proyecto de Asociación Público – Privada, para la instalación y operación de la red pública compartida de telecomunicaciones, que contempla el aprovechamiento de la banda de frecuencias del espectro que incluye los segmentos de 70." .
- [49] Telesemana, "Axtel-Megacable ganan licitación de la Red Compartida con la promesa de un 92,2% de cobertura poblacional," 2016. [Online]. Available:

<http://www.telesemana.com/blog/2016/11/17/axtel-megacable-ganan-licitacion-de-la-red-compartida-con-la-promesa-de-un-922-de-cobertura-poblacional/>. [Accessed: 30-Dec-2016].

- [50] FirstNet, "FirstNet and Next Generation 9-1-1," 2016. [Online]. Available: http://www.firstnet.gov/sites/default/files/NextGen911Factsheet_160418_v2.pdf. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [51] NTIA, "Public Safety," 2016. [Online]. Available: <https://www.ntia.doc.gov/category/public-safety>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [52] L. G. Kruger, "The First Responder Network (FirstNet) and Next-Generation Communications for Public Safety: Issues for Congress," 2017. [Online]. Available: <https://fas.org/sgp/crs/homesecc/R42543.pdf>. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [53] M. Poth, "An Update on the Network Procurement," 2016. [Online]. Available: <http://www.firstnet.gov/newsroom/blog/update-network-procurement>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [54] FCC, "Roaming for Mobile Wireless Services," 2016. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/general/roaming-mobile-wireless-services>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [55] C. International, "Europe: National mobile roaming," 2014. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [56] C. International, "Slovakia to auction 800 MHz, 2.6 GHz and parts of 1800 MHz band," 2013. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [57] C. International, "LATAM: National mobile roaming," 2016. [Online]. Available: <http://www.cullen-international.com/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [58] CONATEL, "Resolución TEL-628-20-CONATEL-2014," 2014. [Online]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/TEL-628-CONATEL-2014.pdf>. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [59] F. C. C. S. P. T. Force, "Report of the Spectrum Efficiency Working Group," 2002. [Online]. Available:

https://transition.fcc.gov/sptf/files/SEWGFinalReport_1.pdf. [Accessed: 01-Feb-2017].

- [60] FCC, "FCC Part 15 of the Code of Federal Regulations," 2016. [Online]. Available: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=185ca68fcd548a46a4e0ce675558c526&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title47/47cfr15_main_02.tpl. [Accessed: 23-Dec-2016].
- [61] FCC, "Notice of proposed rule making and order: Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies," 2003. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/document/facilitating-opportunities-flexible-efficient-and-reliable-spectrum-1>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [62] FCC, "Report and Order: Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies," 2005. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/document/facilitating-opportunities-flexible-efficient-and-reliable-spectrum-0>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [63] FCC, "First Report and order and Further Notice of proposed Rulemaking: Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands," 2006. [Online]. Available: [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SMSE-012-11-adaptrum-annexh.pdf/\\$FILE/SMSE-012-11-adaptrum-annexh.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SMSE-012-11-adaptrum-annexh.pdf/$FILE/SMSE-012-11-adaptrum-annexh.pdf). [Accessed: 31-Mar-2017].
- [64] FCC, "Second Report and Order and Memorandum opinion and order: Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band," 2008. [Online]. Available: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-08-260A1.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [65] Y. Ye, D. Wu, Z. Shu, and Y. Qian, "Overview of LTE Spectrum Sharing Technologies," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 8105–8115, 2016.
- [66] FCC, "SECOND MEMORANDUM OPINION AND ORDER: Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band," 2010. [Online]. Available: [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SMSE-012-11-adaptrum-annexj.pdf/\\$FILE/SMSE-012-11-adaptrum-annexj.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/SMSE-012-11-adaptrum-annexj.pdf/$FILE/SMSE-012-11-adaptrum-annexj.pdf). [Accessed: 31-Mar-2017].

- [67] FCC, "White Space Database Administrators Guide," 2016. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/general/white-space-database-administrators-guide>. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [68] FCC, "3.5 GHz Band / Citizens Broadband Radio Service," 2016. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/rulemaking/12-354>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [69] S. Bhattarai, J. J. Park, B. Gao, K. Bian, and W. Lehr, "An Overview of Dynamic Spectrum Sharing : Ongoing Initiatives , Challenges , and a Roadmap for Future Research," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 2, no. 2. pp. 110–128, 2016.
- [70] E. C. Committee, "Report 159: Technical and Operational Requirements for the possible operation of cognitive radio systems," 2011. [Online]. Available: <https://www.ietf.org/mail-archive/web/paws/current/pdf6LNQT4Lb6S.pdf>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [71] S. W. Oh, Y. Ma, M. Tao, E. Chu, and Y. Peh, "AN OVERVIEW AND COMPARISON OF TV WHITE SPACE REGULATIONS WORLDWIDE," *International Conference on Frontiers of Communications, Networks and Applications (ICFCNA 2014 - Malaysia)*. Kuala Lumpur, pp. 1–6, 2015.
- [72] M. Matinmikko, M. Mustonen, D. Roberson, and J. Paavola, "Overview and comparison of recent spectrum sharing approaches in regulation and research," *2014 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN)*. pp. 92–102, 2014.
- [73] M. Mustonen, M. Matinmikkoi, D. Roberson, and S. Yrja, "Evaluation of recent spectrum sharing models from the regulatory point of view," *2014 1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity*. pp. 11–16, 2014.
- [74] OFCOM, "Implementing TV White Spaces," 2015. [Online]. Available: https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0034/68668/tvws-statement.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [75] OFCOM, "TV White Space Databases," 2016. [Online]. Available: <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-management/TV-white-space-databases>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [76] H. Elshafie *et al.*, "A survey of cognitive radio and TV white spaces in Malaysia," *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, no. January 2014, pp. 975–

991, 2015.

- [77] ENACOM, “Enacom firmó un convenio con Microsoft,” 2016. [Online]. Available: http://www.enacom.gob.ar/institucional/enacom-firmo-un-convenio-con-microsoft_n1326. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [78] M. Colombia, “TV White Spaces conecta a los niños de las zonas más remotas del país a Internet,” 2016. [Online]. Available: https://www.microsoftcolombia.com/presidente_santos_conversa_por_skype_con_escuela_de_caldas. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [79] D. S. Alliance, “Model Regulations,” 2016. [Online]. Available: <http://dynamicspectrumalliance.org/regulations/>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [80] P. H. S. Nwana, “5G, Spectrum Sharing & Coexistence,” *21st Annual Spectrum Policy Summit*. Dynamic Spectrum Alliance, Baden Baden, pp. 1–15, 2016.
- [81] A. Mason, “Report for Ofcom: Study on the technical issues associated with the introduction of national roaming,” 2010. [Online]. Available: https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0012/45012/national-roaming.pdf. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [82] Nortel, “White Paper: Analysis of 3G Infrastructure Sharing,” 2004. [Online]. Available: http://www.recursovoip.com/docs/english/nn_110661.01-17-05.pdf. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [83] D. Meddour, T. Rasheed, and Y. Gourhant, “On the Role of Infrastructure sharing for Mobile Network Operators in Emerging Markets,” *Computer Networks*, vol. 55, no. 7. pp. 1576–1591, 2012.
- [84] 3rd Generation Partnership Project, “3gpp ts 23.251,” 2011. [Online]. Available: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/23251-a10.pdf>. [Accessed: 14-Jan-2017].
- [85] Huawei, “MOCN Parameter description,” 2009. [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/EmersonEduardoRodrig/multi-operator-cn-pd>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [86] P. Consulting, “Coopetition in telecom - Discussion On Network Sharing,” 2014. [Online]. Available:

https://www.mcmc.gov.my/skmmgovmy/media/General/pdf/MCMC_PwC_NetworkSharing_5May2014.pdf. [Accessed: 01-Feb-2017].

- [87] X. Costa-pérez, J. Swetina, and N. E. C. L. Europe, "Radio Access Network Virtualization for Future Mobile Carrier Networks," *IEEE Communications Magazine*, no. July, pp. 27–35, 2013.
- [88] 3GPP, "3GPP TR 22.852 V13.1.0: Study on Radio Access Network (RAN) sharing enhancements," 2014. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=668>. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [89] J. L. M. y R. Rubio, "TESIS: PROPUESTA DE CAMBIO A LAS LEYES QUE PERMITEN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA EN EL MERCADO DE COMUNICACIONES MÓVILES DE PERÚ," PUCP, Lima, Perú, 2013.
- [90] ITU, "Draft new Recommendation ITU-T Series D "Shared use of spectrum and telecommunication infrastructure as a regulatory method for lowering the telecommunication tariffs," 2016. [Online]. Available: <https://www.itu.int/md/T13-SG03-C-0211>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [91] R. H. Tehrani, S. Vahid, D. Triantafyllopoulou, H. Lee, and K. Moessner, "Licensed Spectrum Sharing Schemes for Mobile Operators : A Survey and Outlook," *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 18, no. 4, pp. 2591–2623, 2016.
- [92] Shilpa Merin Baby and Manju James, "A Comparative Study on Various Spectrum Sharing Techniques," *Procedia Technol.*, vol. 126, no. July, pp. 613–620, 2016.
- [93] SOUTH ASIAN TELECOMMUNICATIONS REGULATORS' COUNCIL, "SATRC Report on SPECTRUM SHARING AND TRADING," *13th Meeting of the South Asian Telecommunications Regulator's Council*. Kathmandu, Nepal, pp. 1–16, 2012.
- [94] ETSI, "ETSI TS 103 235 : Reconfigurable Radio Systems (RRS); for operation of Licensed Shared Access (LSA)," 2015. [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200_103299/103235/01.01.01_60/ts_103235v010101p.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].

- [95] W. Cardoso, "LSA - Technology architecture , standardization and regulatory update," *GSMA LA Plenary Meeting*, 2014. [Online]. Available: http://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2014/05/Latam-Plenary-Spectrum-Session-2014-LSA-Technology-Architecture-Standardisation-and-Regulatory-_NSN.pdf. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [96] M. D. Mueck, S. Srikanteswara, and B. Badic, "White Paper: Spectrum Sharing : Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS)," 2015. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/spectrum-sharing-lsa-sas-paper.pdf>. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [97] OFCOM, "A framework for spectrum sharing," 2015. [Online]. Available: https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0028/68239/statement.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [98] M. Gundlach, "Overview of LSA activities in ETSI," *European Conference on Networks and Communications: Workshop on Radio Access and Spectrum*, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/272086594_Overview_of_LSA_activities_in_ETSI. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [99] E. Avdic, I. Macaluso, N. Marchetti, and L. Doyle, "Census Tract License Areas: Disincentive for Sharing the 3.5GHz band?," *GLOBECOM 2016 - 2016 IEEE Global Communications Conference*. pp. 1–7, 2016.
- [100] A. H. Kelechi, R. Nordin, and N. F. Abdullah, "Database-Assisted Television White Space Technology: Challenges, Trends and Future Research Directions," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 8162–8183, 2016.
- [101] N. Faruk and A. A. Ayeni, "DTV Coverage and Protection Contour Estimation for spatial white space DTV Coverage and Protection Contour Estimation for Spatial White Space," *2013 IEEE Int. Conf. Emerg. Sustain. Technol. Power ICT a Dev. Soc.*, no. July, pp. 96–100, 2013.
- [102] OSIPTEL, "Resolución N° 487-2016-GG/OSIPTEL," 2016. [Online]. Available: <https://www.osiptel.gob.pe/articulo/487-2016-gg-osiptel>. [Accessed: 09-Feb-2017].
- [103] L. F. Sol *et al.*, "ICT-601102 STP TUCAN3G Wireless technologies for isolated rural communities in developing countries based on cellular 3G

- femtocell deployments,” 2016. [Online]. Available:
<http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/2/601102/080/reports/001-TUCAN3GQMR3.pdf>. [Accessed: 29-Dec-2016].
- [104] INEI, “Censo INEI 2007,” 2016. [Online]. Available:
<http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>. [Accessed: 15-Apr-2017].
- [105] M. Fitch, S. Kawade, and M. Nekovee, “Wireless Service Provision in TV White Space with Cognitive Radio Technology : A Telecom Operator’s Perspective ... Is Wireless Broadband Provision to Rural Communities in TV Whitespaces Viable ? A UK Case Study and Analysis,” *2012 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks*, no. March. pp. 461–466, 2011.
- [106] OSIPTEL, “Procedimiento de Fijación de Cargos de Interconexión Tope por Terminación de Llamadas en las Redes de los Servicios: Móviles,” 2015. [Online]. Available:
https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/PAR/015-2015-cd-osiptel/Inf027-GPRC_Res015-2015-CD.pdf. [Accessed: 15-Apr-2015].
- [107] H. Holma and A. Toskala, “Dimensioning,” in *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, Wiley, 2009, pp. 247–252.
- [108] O. de Telecomunicaciones, “Información de operadores de telecomunicaciones y proveedores de infraestructura pasiva de Perú en el marco de trabajo de investigación del curso ‘Economía y Administración Estratégica Aplicada a las Telecomunicaciones’ del semestre 2016-I de la Maestría.” 2016.
- [109] OSIPTEL, “RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 085-2014-CD/OSIPTEL: Determinación de Proveedores Importantes en los Mercados N° 30, 31, 32 y 33: Acceso a la Red Pública de Servicios Móviles y Acceso Mayorista al Servicio de Comunicaciones desde Terminales Móviles,” 2014. [Online]. Available:
https://www.osiptel.gob.pe/Archivos/ResolucionAltaDireccion/ConsejoDirectivo/Inf365-GPRC_2014_Res085-2014-CD.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].
- [110] D. S. Alliance, “Normas y reglamentación técnica sugerida para el uso de Espacios Blancos de televisión,” 2014. [Online]. Available:
[158](http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/07/Model-</p></div><div data-bbox=)

Rules-FAQ-SP.pdf. [Accessed: 31-Mar-2017].

- [111] M. de T. y Comunicaciones, "Plan Nacional de Atribución de Frecuencias," 2008. [Online]. Available:
http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf. [Accessed: 29-Feb-2016].
- [112] MTC, "Mercado Secundario del Espectro Radioeléctrico," 2016. [Online]. Available:
https://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/publicaciones/Publicaciones/Mercado Secundario de Espectro.pdf. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [113] OSIPTEL, "El Espectro Radioeléctrico como herramienta para la promoción de la expansión de los servicios móviles y la competencia en el Perú," 2013. [Online]. Available:
https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/par/documento-de-trabajo-n-16-el-espectro-radioelect/DT_radioelect_promoc_peru-02.pdf. [Accessed: 29-Dec-2016].