Agencia Nacional del Espectro

ANÁLISIS DE LA BANDA DE 26 GHz Y PROPUESTA DE CONDICIONES TÉCNICAS DE LA BANDA DE 3.5GHz

DICIEMBRE DE 2022

TABLA CONTENIDO

LISTA DE TABLAS 4
LISTA DE FIGURAS 5
SIGLAS Y ACRÓNIMOS 6
INTRODUCCIÓN 7
1. GENERALIDADES DE 5G 9
1.1. COMUNICACIONES MÓVILES 5G 9
1.2. CASOS DE USO Y PRINCIPALES REQUISITOS 10
1.3. CONSIDERACIONES DE ESPECTRO PARA 5G 12
2. BANDA DE 26 GHZ (24.25 - 27.5 GHZ) 16
2.1. CASOS DE USO EN LA BANDA DE 26 GHZ 16
2.1.1. POSIBLES CASOS DE USO EN BANDA DE 26 GHZ 16
2.1.2. CASOS DE USO DESPLEGADOS EN LA BANDA DE 26 GHZ EN DIFERENTES PAÍSES 18
2.2. IDENTIFICACIÓN DE LA BANDA DE 26 GHZ PARA LAS IMT EN LA CMR-19 22
2.3. HAPS EN LA BANDA DE 26 GHZ 23
2.4. ARREGLOS DE FRECUENCIAS Y DISPOSICIONES EN LA BANDA DE 26 GHZ 25
2.5. ECOSISTEMA Y DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS 25
3. SITUACIÓN NACIONAL DEL ESPECTRO EN BANDA DE 26GHZ 28
3.1. ATRIBUCIÓN EN COLOMBIA 28
3.2. OCUPACIÓN DEL ESPECTRO 29
3.3. RESULTADOS ESTUDIO DE CONVIVENCIA 31
3.4. CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL DESPLIEGUE DE 5G PARA LA BANDA DE 26GHZ 32
3.4.1. CONVIVENCIA DE REDES 5G Y SERVICIOS EXISTENTES 33
Recomendaciones UIT 33
3.4.2. DECISIONES DE LA COMISIÓN EUROPEA PARA LA CONVIVENCIA CON OTROS SERVICIOS 36
4. REVISIÓN INTERNACIONAL DE ESPECTRO ASIGNADO PARA 5G 39
4.1. CASOS DE SUBASTAS DE ESPECTRO EN BANDA DE 26GHZ 40
5. CONDICIONES TÉCNICAS EN BANDA DE 3.5 GHZ 45

5.1. TAMAÑO DE BLOQUE 45
5.2. CONVIVENCIA DE REDES 5G Y SERVICIOS ATRIBUIDOS EN LAS BANDAS ADYACENTES 46
5.2.1. *SERVICIO FIJO POR SATÉLITE (FSS) EN LA BANDA ADYACENTE DE 3.5 GHZ* 47
5.2.2. SINCRONIZACIÓN DE REDES TDD 5G 48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52
BIBLIOGRAFÍA 56
ANEXO 1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL 3GPP 65
ANEXO 2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CONVIVENCIA 69
ANEXO 3 REVISIÓN INTERNACIONAL 73
ANEXO 4 CONVIVENCIA CON SERVICIO FIJO POR SATÉLITE (FSS) 74
ANEXO 5 ASPECTOS DE SINCRONIZACIÓN DE REDES MÓVILES 5G 81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales requisitos de redes de acceso 5G 11
Tabla 2. Eficiencia espectral promedio 12
Tabla 3. Eficiencia espectral del quinto percentil (*5th percentile*) 12
Tabla 4. Rangos de frecuencia identificados para las IMT en la CMR-19. 14
Tabla 5. Estado de asignación en Colombia de rangos IMT en bandas bajas, medias y altas. 14
Tabla 6. Principales casos de uso teóricos 17
Tabla 7. Casos de uso de la banda de 26 GHz. 19
Tabla 8. Atribuciones al servicio Móvil (salvo móvil aeronáutico) aprobadas en la CMR-19 para la Región 2. 22
Tabla 9. Ecosistema de dispositivos que operan en la banda de frecuencias n258. 27
Tabla 10 Distribución de la ocupación de la banda 26 GHz. 29
Tabla 11 Extracto del Cuadro 1.1 de la Resolución 750 (Rev. CMR-19) aplicable a la banda de 24.25-27.5 GHz. 36
Tabla 12. Casos a resaltar 40
Tabla 13. Casos en los que se subastó la banda de 26 GHz 41
Tabla 14 Ejemplo de formatos de un *slot* para 5G (DL: D, UL: U, flexible: F) 66
Tabla 15 Anchos de banda para 5G por debajo de 26GHz 66
Tabla 16 Anchos de banda para 5G por encima de 26GHz 67
Tabla 17 Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base de área local (Categoría A y B) 68
Tabla 18 Resumen de los resultados del estudio de convivencia en la banda de 26 GHz. 69
Tabla 19. Resultados simulaciones con punto a Punto de 14 MHz 72
Tabla 20 Límite adicional de las emisiones no deseadas de la banda de operación para estaciones base en el mercado estadounidense para la banda n48 (3550-3700 MHz) 74
Tabla 21. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base sin sistemas AAS en Brasil 75
Tabla 22. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base con sistemas AAS en Brasil 75
Tabla 23. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base sin y con sistemas AAS en Europa 76
Tabla 24. Lista de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite a proteger en el territorio nacional Frances 78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Indicadores clave de rendimiento de redes 5G establecidos por la ITU 9
Figura 2. Casos de uso 5G 10
Figura 3. Pronóstico de espectro requerido para 5G 13
Figura 4. Canalización dispuesta para el rango de frecuencias de 26 GHz 25
Figura 5. Dispositivos anunciados por banda para 5G - agosto de 2022. 26
Figura 6. Atribución Banda 26 GHz en Colombia 28
Figura 7. Canalización para el servicio Fijo en Colombia en la banda de 26 GHz ... 29
Figura 8. Ocupación por enlaces microondas de la Banda 26 GHz 30
Figura 9. Cantidad de espectro asignado (por rango de frecuencia) para 5G en mercados internacionales 39
Figura 10 Atribución banda 3.6 – 3.8 GHz para Colombia 46
Figura 11. Estructura de la trama TDD requerida en caso de no haber acuerdo entre los titulares permisos de espectro en la banda de 3.5 GHz 50
Figura 12. Resultados de la subasta de la banda de 3.5 GHz en Francia 79
Figura 13. Resultados de la subasta de la banda de 3.5 GHz en diferentes países de la unión europea 79
Figura 14. Casos de interferencia cuando las estaciones base no están sincronizadas 82

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Third Generation Partnersip Project
4G	Cuarta Generación
5G	Quinta Generación
ANE	Agencia Nacional del Espectro
AWS	Advanced Wireless Services
CEPT	Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
CNABF	Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias
eMBB	enhanced Mobile Broadband
dB	Decibelio
dBm	Decibelio relativo a un milivatio
dBW	Decibelio relativo a un vatio
FDD	Frequency Division Duplex
FWA	Fixed Wireless Access
GHz	Giga Hertz
GSA	Asociación mundial de proveedores del sector móvil.
HAPS	Sistemas de Estaciones en Plataformas a gran Altitud
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet de las Cosas
LTE	Long Term Evolution
Mbps	Megabit por segundo
MHz	Mega Hertz
MinTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
PRST	Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones
SETS	Servicio de Exploración de la Tierra por Satélite
SIE	Servicio de Investigación Espacial
SFS	Servicio Fijo por Satélite
SRA	Servicio de Radioastronomía
SGE	Sistema de Gestión de Espectro
TDD	Time Division Duplex
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication

INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología de quinta generación (5G) tendrá un impacto positivo en la competitividad, en el crecimiento económico y en la conectividad en general. Por esta razón, Colombia tiene la oportunidad de aprovechar las nuevas tecnologías 5G para que se conviertan en una herramienta transversal para el desarrollo económico y social.

Con esto en mente el Mintic ha solicitado a la ANE, como su entidad técnica asesora en espectro, la realización de un estudio que tiene como fin el de proveer diferentes insumos que permitan al Ministerio tomar la decisión de viabilizar el uso de la banda de 26 GHz en el país para la provisión de servicios móviles IMT.

Así mismo, como parte de los estudios que se han adelantado sobre la banda de 3.5 GHz, la ANE propone en este documento las condiciones técnicas a ser tenidas en cuenta por el Mintic y por los asignatarios de permisos de uso de espectro para el despliegue de redes en la banda de 3.5 GHz.

En cuanto a la banda de 26 GHz, que ha sido identificada internacionalmente para el despliegue de servicios móviles, de manera general se observa en este estudio que la banda es necesaria para el desarrollo de 5G y es un complemento de la banda de 3.5 GHz. También se encontró que mediante la tecnología 5G se podrán cursar grandes cantidades de tráfico, debido a su alta disponibilidad de espectro y suele ser utilizada para atender soluciones muy puntuales debido a su baja cobertura. En este sentido, la utilización de la banda podría darse en zonas de alta demanda, como por ejemplo en las ciudades más pobladas o sitios de alta congregación (como estadios, terminales de transporte, entre otros).

Por otra parte, en cuanto a la banda de 3.5 GHz en años previos ya se han adelantado y publicado estudios cuyo alcance abarca la disponibilidad de la banda y los casos de uso asociados con el despliegue de la tecnología 5G [1]. Ahora bien, se considera necesario la identificación de temas claves adicionales de carácter técnico como es la necesidad de la sincronización entre las redes móviles y la convivencia del servicio móvil IMT con otros servicios radioeléctricos en banda adyacente, todo esto con el fin de ser incluido como parte dentro del proceso de asignación que adelanté el Mintic sobre esta banda de frecuencia.

El estudio que se presenta en este documento busca dar respuesta a la solicitud del Ministerio atendiendo diferentes temáticas de relevancia en la banda de 26 GHz y

de 3.5GHz como lo son: 1) Generalidades de la tecnología 5G, 2) Posibles desarrollos futuros de la banda y despliegues vigentes a nivel internacional (casos de uso) y ecosistema de equipos en la banda de 26 GHz, 3) Situación nacional que incluye la atribución, ocupación y convivencia en banda de 26 GHz 4) Consideraciones técnicas para la convivencia con otros servicios de radiocomunicaciones en la banda de 26 GHz, y 5) Revisión de las asignaciones a nivel internacional en banda de 26 GHz y 6) condiciones técnicas para el despliegue de la banda en 3.5 GHz.

Posterior a la revisión nacional e internacional se ha dispuesto de un capítulo de conclusiones, donde se identifican aquellas actividades por adelantar por parte de la Administración para un futuro proceso de asignación de espectro sobre la banda de 26 GHz y de 3.5 GHz.

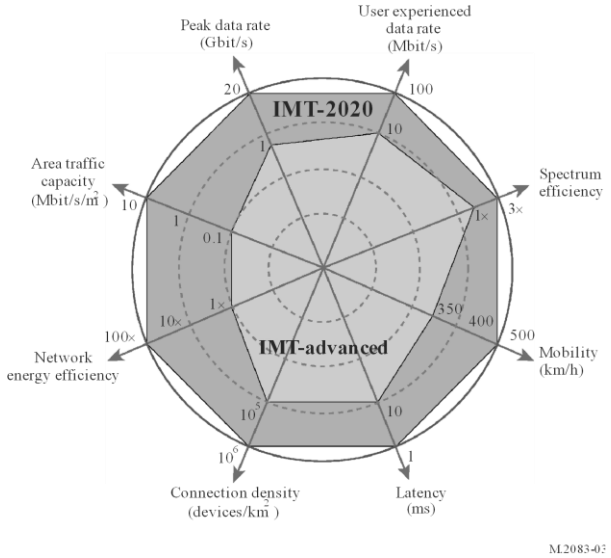
1. GENERALIDADES DE 5G

1.1. COMUNICACIONES MÓVILES 5G

La tecnología inalámbrica 5G está diseñada para conectar masivamente a personas, máquinas, objetos y dispositivos, y a ofrecer velocidades de datos máximas de varios gigabits por segundo (Gbps), latencia ultra – baja y capacidad de red masiva.

En la **Figura 1** se observan los principales indicadores de rendimiento (KPIs) de redes 5G establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) en la recomendación ITU-R M.2083 [2].

Figura 1. Indicadores clave de rendimiento de redes 5G establecidos por la ITU



Fuente: Tomado de la recomendación ITU-R M.2083 [2]

Tras la evaluación por parte de la ITU para IMT-2020[1], la tecnología 5G ya se encuentra en un estado lo suficientemente madura para su despliegue, muestra de esto es que la ITU publicó la recomendación ITU-R M.2150 [3] donde identifica y proporciona las especificaciones detalladas de las interfaces de radio.

[1] IMT-2020 es un estándar y un conjunto de especificaciones para las redes 5G establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)

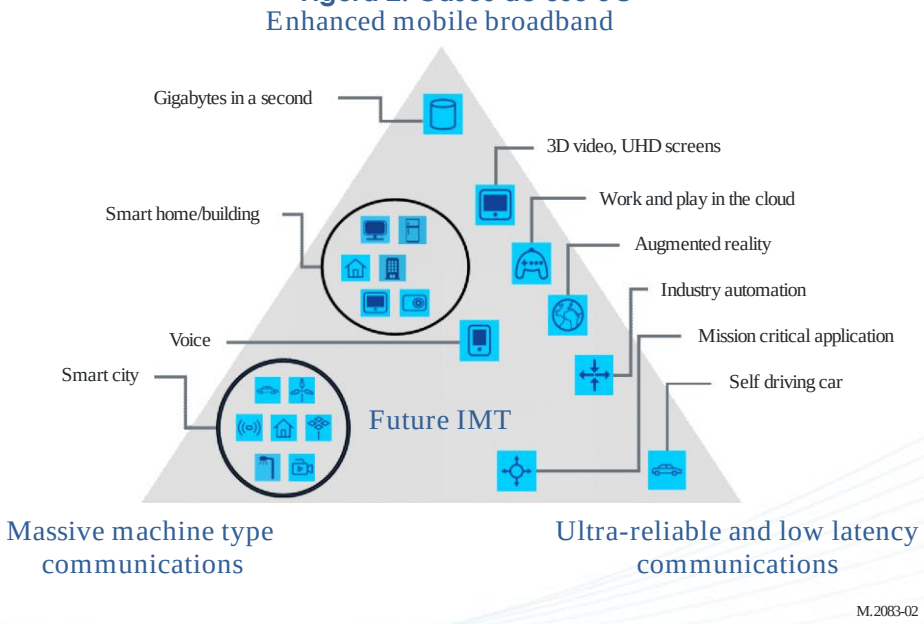
La especificación presenta en detalle las características y los parámetros de la interfaz de radio de IMT-2020, el cual permite una compatibilidad global, *roaming* internacional y el acceso a nuevos servicios en diversos casos de uso.

Como parte del estudio "Propuesta de las condiciones técnicas para la asignación de espectro para 5G" [] que adelantó la ANE en el año 2021 se identificaron las generalidades técnicas, casos de uso y requisitos de la tecnología 5G. Teniendo en cuenta la importancia y aplicabilidad de este tema en la banda de 26 GHz que también ha sido identificada para el despliegue de 5G, a continuación, se encuentran las temáticas más relevantes identificadas en ese estudio.

1.2. CASOS DE USO Y PRINCIPALES REQUISITOS

Los principales usos de la tecnología se relacionan con banda ancha móvil mejorada (eMBB), comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC), y comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (URLLC). En la Figura 2 se presentan los principales casos de uso presentados en la recomendación ITU-R M.2083 [2].

Figura 2. Casos de uso 5G



Fuente: Tomado de la recomendación ITU-R M.2083 [2]

En la Tabla 1 se presentan los principales requerimientos para los enlaces descendentes (DL) y ascendentes (UL) de las tecnologías de acceso de radio 5G contenidos en el reporte ITU-R M.2410 [5].

Tabla 1. Principales requisitos de redes de acceso 5G

Métrica	Requerimiento	Observaciones
Velocidad de datos pico	DL: 20 Gbps UL: 10 Gbps	Velocidad de datos máxima alcanzable en condiciones ideales por usuario (eMMB)
Velocidad de datos experimentada por el usuario	DL: 100 Mbps UL: 50 Mbps	Velocidad de datos de todos los usuarios el 95% del tiempo (eMMB)
Eficiencia espectral pico	DL: 30 bits/s/Hz UL: 15 bits/s/Hz	*Throughput* promedio por unidad de recurso de espectro y por celda (eMMB)
Tráfico por unidad de área	10 Mbps/m^2	Tráfico total en el área de cobertura (eMMB)
Latencia	eMMB: 4 ms URLLC: 1 ms	La contribución de la red de radio al tiempo desde que la fuente envía un paquete hasta que el destino lo recibe (eMBB y URLLC)
Densidad de conexiones	1 millón de dispositivos por km^2	Número total de dispositivos por unidad de área (mMTC)
Movilidad	500 km/h	Velocidad máxima para *handovers* exitosos y cumplimiento de los requisitos de calidad del servicio (QoS) (eMBB y URLLC)

Fuente: Reporte ITU-R M.2410

En el reporte ITU-R M.2410 [5] están definidos los requisitos técnicos mínimos de rendimiento para garantizar que las tecnologías 5G puedan cumplir los objetivos definidos en la recomendación ITU-R M.2083 [2].

Los requisitos más relevantes a la hora de evaluar los resultados de las velocidades de datos de las diferentes pruebas piloto son las eficiencias espectrales promedio y del quinto percentil (correspondiente a velocidad de datos de todos los usuarios el 95% del tiempo). A continuación, se presentan los valores de estos requisitos:

Tabla 2. Eficiencia espectral promedio

Entorno de prueba	*Downlink (DL)* (bit/s/Hz/TRxP)	*Uplink (UL)* (bit/s/Hz/TRxP)
Indoor Hotspot – eMBB	9	6.75
Dense Urban – eMBB (Nota 1)	7.8	5.4
Rural – eMBB	3.3	1.6

NOTA 1. Este requisito aplica a estaciones base tipo Macro en el entorno de prueba *Dense Urban* - eMBB, como se describe en el reporte ITU-R M.2412-0 [6].

Fuente: Reporte ITU-R M.2410

Tabla 3. Eficiencia espectral del quinto percentil (*5th percentile*)

Entorno de prueba	*Downlink* (DL) (bit/s/Hz)	*Uplink* (UL) (bit/s/Hz)
Indoor Hotspot – eMBB	0.3	0.21
Dense Urban – eMBB (Nota 1)	0.225	0.15
Rural – eMBB	0.12	0.045

NOTA 1. Este requisito aplica a estaciones base tipo Macro en el entorno de prueba *Dense Urban* - eMBB, como se describe en el reporte ITU-R M.2412-0 [6].

Fuente: Reporte ITU-R M.2410

Teniendo en cuenta las tablas anteriores, y dada la eficiencia espectral suministrada para cada tipo de entorno de prueba, se tiene que de manera teórica y asumiendo un ancho de banda contiguo de 100 MHz, para entornos tipo Indoor Hotspot – eMBB se espera que la velocidad de datos en Down Load experimentada por el usuario en promedio sea 900 Mbps y el 95% del tiempo sea al menos 30 Mbps. Para entornos tipo Dense Urban – eMBB se espera que la velocidad de datos en DL experimentada por el usuario en promedio sea 780 Mbps y el 95% del tiempo sea al menos 22.5 Mbps.

1.3. CONSIDERACIONES DE ESPECTRO PARA 5G

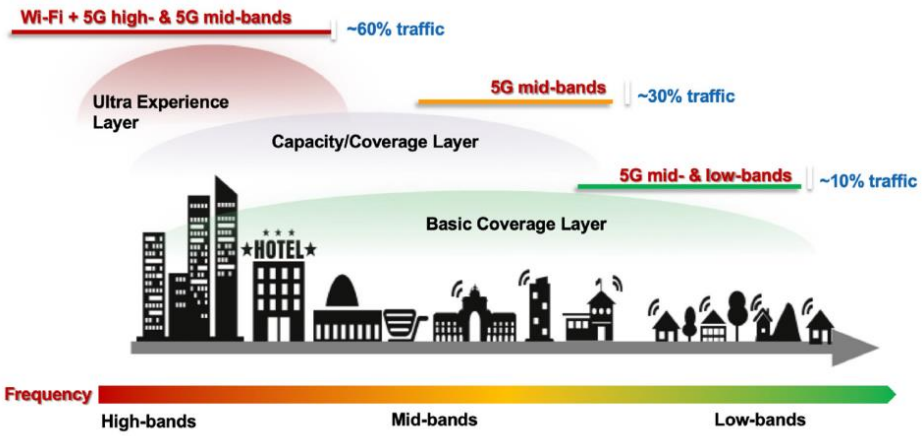
La tecnología 5G tiene el potencial de soportar velocidades de banda ancha muy superiores a las tecnologías móviles actualmente en uso y de expandir los servicios móviles y el uso de datos. Así mismo, 5G cuenta con la posibilidad de impulsar tecnologías emergentes como Vehículos Autónomos, Inteligencia Artificial,

Robótica, Realidad Virtual (RV), Realidad Aumentada (RA), Internet de las Cosas (IoT), Ciudades Inteligentes, entre otras.

Es por esto que se requiere de una amplia gama de espectro armonizado, en lo posible a nivel mundial, dentro de tres rangos de frecuencias principales:

- Bandas Bajas (Por debajo de 1 GHz).
- Bandas Medias (Entre 1 a 6 GHz).
- Bandas Altas (Por encima de 6 GHz).

Figura 3. Pronóstico de espectro requerido para 5G.



Fuente: Imagen extraída del reporte de la GSA "Millimetre Wave Spectrum for 5G". Octubre 2019.

Como se observa en la Figura 3, el espectro en bandas bajas se requiere principalmente para extender la cobertura de la banda ancha móvil 5G a zonas urbanas, suburbanas y rurales. En este sentido, en cuanto a la disponibilidad de frecuencias en bandas bajas existen alternativas como la ya subastada banda de 700 MHz que se usa inicialmente en 4G y que serviría como un puente entre las dos generaciones y la banda de 600 MHz que se convierte en una segunda opción una vez esta sea liberada por parte de las estaciones de radiodifusión de televisión.

Por su parte, el espectro en bandas medias ofrece una combinación razonable de cobertura y capacidad para servicios 5G. En cuanto a la disponibilidad de frecuencias, para el caso de las bandas medias se tiene priorizado el rango de frecuencias de 3300 a 3700 MHz, conocida como la Banda de 3500 MHz.

Finalmente, el espectro en bandas altas es necesario para soportar la velocidad ultra rápida de banda ancha móvil, contemplada para la tecnología 5G, especialmente en zonas de alta densidad de usuarios, dispositivos y tráfico. Para las frecuencias en bandas altas hay que recordar que en la pasada Conferencia Mundial de

Radiocomunicaciones del 2019 (CMR-19), se logró un consenso a nivel regional y se identificaron las siguientes bandas de frecuencias para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales de quinta generación:

Tabla 4. Rangos de frecuencia identificados para las IMT en la CMR-19.

Rango de Frecuencias		Espectro Adicional (GHz)	Armonización a nivel Global
Frecuencia Inicial (GHz)	Frecuencia Final (GHz)		
24.25	27.5	3.25	Si
37	43.5	6.5	SI
45.5	47	1.5	NO
47.2	48.2	1	NO
66	71	5	SI
Total (GHz)		**17.25**	**14.75**

Fuente: Elaboración ANE

Es importante subrayar que de estos 17.25 GHz de espectro identificados para las IMT en la CMR-19, sólo 14.75 GHz fueron armonizados a nivel mundial (Colombia no se encuentra dentro de los países que identificaron las bandas de 45.5 GHz a 47 GHz), alcanzando un 85% de armonización global, con lo cual se espera lograr una itinerancia mundial y aprovechar las economías de escala.

A continuación, la Tabla 5 muestra un resumen del estado de asignación de las bandas bajas, medias y altas en Colombia:

Tabla 5. Estado de asignación en Colombia de rangos IMT en bandas bajas, medias y altas.

Rangos de espectro	Nombre de la banda	Espectro disponible (MHz)	Espectro asignado (MHz)	Porcentaje asignado
< 1 GHz	700 MHz	90	80	88,89%
	850 MHz	50	50	100,00%
1-3 GHz	AWS	90	90	100,00%
	1900 MHz	120	110	91,67%
	2500 MHz	180	150[2]	83,33%

[2] No se tiene en cuenta 20 MHz asignados de manera temporal a Movistar.

Rangos de espectro	Nombre de la banda	Espectro disponible (MHz)	Espectro asignado (MHz)	Porcentaje asignado
3-6 GHz	3500 MHz	400	0	0,00%
> 6 GHz	26 GHz	2886[3]	0	0,00%
Total espectro asignado			**480**	

Fuente: Elaboración ANE

[3] Espectro disponible de manera inmediata a nivel nacional (sin considerar bandas de guarda), dada la ocupación actual de la banda por parte de enlaces fijos microondas.

2. BANDA DE 26 GHz (24.25 - 27.5 GHz)

La banda de 26 GHz corresponde a uno de los rangos de las bandas altas IMT que operarían por encima de los 6 GHz (> 6 GHz). El rango comprendido entre los 24 GHz a los 71 GHz es también conocido como el rango de bandas milimétricas para 5G "mmWave".

Dado el amplio ancho de banda disponible en las bandas milimétricas, se pueden ofrecer nuevos usos y servicios dada su capacidad para transportar grandes cantidades de tráfico y generar mayores velocidades, pero su uso está limitado a cortas distancias siendo afectado fácilmente por obstáculos como árboles o edificios.

2.1. CASOS DE USO EN LA BANDA DE 26 GHz

El despliegue de la banda de 26 GHz en el servicio móvil no permite generar amplias coberturas, como sucede con la banda de 700MHz, y su despliegue estaría principalmente enfocado en las ciudades donde existe una mayor concentración y demanda por servicios de telecomunicaciones. Esto no implica que no puedan existir usos de este espectro en sitios rurales, sino que en lugares de baja demanda su uso será mucho menor.

El uso de la banda de 26 GHz para el servicio móvil con tecnología 5G se encuentra aún en una etapa temprana de desarrollo [7], pero se espera que a medida que la demanda de tráfico crezca, esta banda de frecuencias será un componente importante para la provisión del servicio móvil MBB, así mismo se espera que este espectro tendrá un alto potencial para el desarrollo de servicios innovadores que hagan uso de la tecnología móvil y que requieran anchos de banda grandes.

De esta manera, la revisión sobre los casos de uso se realiza en función del tiempo, así: (I) Lo que se espera se desarrolle en el tiempo, es decir la prospectiva de posibles implementaciones en la banda de 26 GHz, y (II) la identificación y descripción de los despliegues que ya están en operación.

2.1.1. POSIBLES CASOS DE USO EN BANDA DE 26 GHZ

Los principales posibles casos de uso en esta banda de frecuencias se centran en dos temáticas, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 6. Principales casos de uso teóricos

Tipo	Descripción	Aplicación
eMBB (Mobile to broadband)	Provisión de los servicios convencionales de comunicaciones ofreciendo una capacidad mucho mayor. Teniendo en cuenta que son celdas con cobertura reducidas se espera que su despliegue se de en áreas con muy alta demanda de tráfico.	- Esta banda puede ofrecer capacidad adicional para ciertos usos como video de alta resolución y servicios asociados a realidad aumentada. Su uso se puede dar en estadios, centros de convenciones y lugares donde se realicen conciertos. - Uso de Hotspots dentro de las ciudades donde se ha identificado zonas de alta de demanda de tráfico por ejemplo en aeropuertos, estaciones de tren y metro o dentro de las oficinas.
Acceso fijo inalámbrico FWA	Este es uno de los usos más claros de la tecnología 5G. Su despliegue se da en aquellos lugares donde no se cuente con la red de fibra óptica. Su fin es la provisión de internet de banda ancha inalámbrica en mercados con baja penetración por este servicio.	Esta solución es principalmente para ofrecer banda ancha en sitios residenciales o en pequeñas oficinas donde no exista red de fibra óptica. Su uso se puede dar en ciudades, zonas suburbanas o incluso en ciertas zonas rurales.

Fuente: Elaboración ANE

Así mismo se han identificado otros casos de uso que podrían desarrollarse en un futuro.

Tipo	Descripción	Aplicación
IAB	Esta alternativa busca hacer uso del mismo	El uso y aplicación del IAB es dependiente y proporcional al

Tipo	Descripción	Aplicación
Backhaul y acceso integrados	espectro tanto para la red de acceso como para desplegar enlaces de backhaul. Teniendo en cuenta la cantidad de espectro disponible se podrían desplegar enlaces con amplios anchos de banda para la conectividad de las estaciones base.	despliegue de la red de acceso en MBB.
eMBB en fábricas	Las fábricas y campus pueden no ser prioridad para la cobertura con tecnología 5G por parte de los operadores comerciales. Sin embargo, estos actores podrían requerir condiciones técnicas particulares como latencia, velocidad, anchos de banda o cobertura que generen nuevos despliegues mediante el uso de una red privada.	Despliegue de redes privadas que tienen coberturas limitadas y que se ajustan a los requerimientos técnicos de la empresa. Su uso puede encontrarse para el despliegue en puertos, almacenes, centros logísticos. Puede esperarse que el 5G permita la automatización y la manipulación de objetos, el IoT masivo, vigilancia, monitoreo mejorado.

Fuente: Tabla realizada con base en Realwireless [8], Qualcomm [9], Omdia [10] y GSMA [11]

2.1.2. CASOS DE USO DESPLEGADOS EN LA BANDA DE 26 GHZ EN DIFERENTES PAÍSES

En la siguiente tabla se presentan algunos casos de uso actuales de dicha banda en diferentes países.

Tabla 7. Casos de uso de la banda de 26 GHz.

Caso de Uso	País	Descripción	Usos o Servicios Entregados
Banda Ancha móvil Mejorada (eMBB)	Francia	Pruebas en la estación de trenes de Rennes. Las pruebas consideran los servicios en el área pública de usuarios de la estación, así como en el área del mantenimiento y reparación de trenes.	•Hotspot 5G para usuarios y personal de la operación. •Descarga instantánea de video durante el viaje •Información en realidad aumentada (RA) •Telemantenimiento con RA •Tratamiento masivo de datos de control de los trenes.
Acceso fijo inalámbrico (FWA)	Estados Unidos	Servicio de Internet 5G FWA como alternativa al internet de banda ancha por cable ofrecido por Verizon desde el 2018, con el objetivo de cubrir 30 millones de hogares en un lapso de 5 a 7 años. A abril de 2021 el servicio para hogares estaba disponible en áreas de 30 ciudades en los EE. UU. y en 24 ciudades para negocios.	Internet de alta velocidad: Descarga típica de 300 Mbps con un pico de hasta 1 Gbps Carga típica de 50 Mbps.
	Rumania	Orange planea lanzar servicios FWA en la banda de 26 GHz. En 2019 y 2020 se hicieron pruebas con Samsung y Cisco, que mostraron la viabilidad de FWA para entregar servicios con un rendimiento similar a la fibra. Las pruebas se realizaron con antenas en interiores y exteriores.	Datos de alta velocidad: Descarga de hasta 1 Gbps Carga de más de 100 Mbps

Caso de Uso	País	Descripción	Usos o Servicios Entregados
"Hot Spots" de Alta Capacidad	Francia	Conectividad en interiores en el estadio deportivo de Saint-Quentin-en-Yvelines. Las bajas latencias y anchos de banda amplios facilitan los casos de uso.	•Transmisiones mejoradas de los eventos deportivos. •Evolución de los equipos de audio y video fijos y móviles •Integración de inteligencia artificial (IA) en las publicidades deportivas
Conectividad en Industria y empresas	Francia	Pruebas para aplicaciones industriales y portuarias en el puerto de Le Havre, en asociación con Siemens, Nokia y EDF (Electricité de France). En la prueba se utiliza banda de 26 GHz en paralelo con frecuencias en 2,6 GHz como banda de anclaje.	•Gestión de redes de energía inteligentes Recarga de vehículos eléctricos •Operación de maquinaria de contenedores Análisis de movilidad o seguimiento de flujos en el puerto.
Aplicaciones 5G en Interiores	Reino Unido	En el Reino Unido, la banda 24,25-26,5 GHz se incluye en el marco de uso compartido de espectro de Ofcom para uso en interiores. Esto permite el despliegue de aplicaciones 5G de acceso local interior de baja potencia sin afectación a las redes existentes. Se permite desplegar estaciones base interiores en un área circular con un radio de 50 metros sin necesidad de autorizaciones adicionales por cada estación base y es posible solicitar varias licencias para cubrir un área más grande.	Cualquier aplicación de acceso local 5G en Interiores

Caso de Uso	País	Descripción	Usos o Servicios Entregados
Conectividad móvil 5G en parques tecnológicos e Industriales, aeropuertos y universidades	Hong Kong	En 2019, la Oficina de Comunicaciones de Hong Kong abrió un proceso para la asignación de espectro en la banda de 26 GHz (24.25 – 27.5 GHz) y la banda de 28 GHz (27.5 – 28.35 GHz), sobre la base de compartición geográfica para desarrollo de 5G u otras tecnologías móviles avanzadas. El espectro compartido se asigna en áreas geográficas de hasta 50 kilómetros cuadrados, como campus universitarios, polígonos industriales, parques tecnológicos y el aeropuerto. Adicionalmente, este espectro no se asigna a los Operadores móviles MNO que ya tienen espectro en la banda de 26 GHz. Ejemplo de esto es la licencia compartida a la Autoridad Aeroportuaria de Hong Kong.	Aplicaciones móviles o 5G para universidades, Aeropuertos, Parques industriales y tecnológicos.

Fuente: Elaboración propia con base en el reporte de Plum Consulting[4].

De acuerdo con la tabla anterior, se han desarrollado diferentes pruebas e implementado algunas soluciones 5G en banda de 26 GHz en el mundo, la mayoría de estas, son soluciones de alta capacidad para sitios de alta demanda que permiten el uso de diferentes aplicaciones que abarcan; realidad virtual, realidad aumentada, descarga instantánea de video y datos, Inteligencia Artificial, tratamiento masivo de datos, gestión y tele mantenimiento de equipos, entre otros conceptos asociados a las características que pueden brindar las tecnologías avanzadas como 5G, capacidad de transmisiones de datos y bajas latencias.

4 Lavender Tony, Jervis Val, Schoentgen Aude, Wilkinson Laura, Stimulating demand for 26 GHz in Europe. Plum Consulting. July 2021. P4.

Adicionalmente, entre los casos de uso presentados destacan además de las soluciones enfocadas en la movilidad, las soluciones comerciales de Acceso Fijo Inalámbrico (FWA por sus siglas en inglés) como en los casos de Estados Unidos o Rumania que permiten una alternativa al acceso a través de fibra y pueden ser empleadas a nivel de hogar y empresas.

También se puede observar de los casos presentados, que la banda de 26 GHz puede ser desplegada en espacios específicos para atender necesidades particulares, por ejemplo, el caso de las autorizaciones en interiores en el Reino Unido o las asignaciones bajo compartición de espectro que se realizan en Hong Kong que permiten satisfacer la necesidad de espectro y aplicaciones de alta capacidad que pueden tener actores como Industrias, Universidades, Puertos, entre otros.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE LA BANDA DE 26 GHZ PARA LAS IMT EN LA CMR-19

En la CMR-19 se llevó a cabo la atribución al servicio móvil e identificación a nivel mundial de la banda de 26 GHz (24.25 GHz a 27.5 GHz) para las IMT, a través de la nota internacional 5.532AB del Reglamento de Radiocomunicaciones.

> 5.532AB La banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz está identificada para su utilización por las administraciones que deseen introducir la componente terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). Dicha identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por las aplicaciones de los servicios a los que está atribuida y no implica prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. Se aplica la Resolución 242 (CMR-19). (CMR-19)

Así las cosas, luego de la CMR-19, en la Región 2 (América) se llevó a cabo la atribución al servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) únicamente en los rangos de frecuencias de la Tabla 8, debido a que el segmento comprendido entre los 25.25 GHz a 27.5 GHz ya se encontraba atribuido al servicio Móvil a nivel mundial.

Tabla 8. Atribuciones al servicio Móvil (salvo móvil aeronáutico) aprobadas en la CMR-19 para la Región 2.

Atribuciones al servicio Móvil (salvo móvil aeronáutico) aprobadas en la CMR-19	
Rango de Frecuencia (GHz)	**Nota Internacional**
24.25 - 24.45	5.532AB
24.45 – 24.65	5.532AB

Atribuciones al servicio Móvil (salvo móvil aeronáutico) aprobadas en la CMR-19	
Rango de Frecuencia (GHz)	**Nota Internacional**
24.65 – 24.75	5.532AB
24.75 – 25.25	5.532AB

Fuente: Elaboración ANE

Es importante subrayar que, la atribución al servicio móvil de la banda comprendida entre los 24.25 GHz a 27.5 GHz, quedó armonizada a nivel global a fin de lograr la itinerancia mundial y aprovechar las economías de escala, por lo tanto, hay una muy buena expectativa para que esta banda sea una de las más notables por encima de los 6 GHz para el despliegue del estándar 5G.

2.3. HAPS EN LA BANDA DE 26 GHZ

Durante la CMR-19 se aprobó la Resolución 166 (CMR-19) [12], la cual trata sobre la utilización de la banda de frecuencias 24.25-27.5 GHz por parte de las estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS) del servicio fijo en la Región 2.

Esta resolución nace a partir de la CMR-15, como una prioridad para estudiar las necesidades de espectro adicional de los HAPS para que estos sistemas pudieran proporcionar conectividad de banda ancha y facilitar la utilización a escala mundial o regional, ya que las identificaciones realizadas para las HAPS antes de la CMR-19 se establecieron sin tener en cuenta las capacidades actuales de la banda ancha.

Como se puede observar, la banda de 24.25 a 27.5 GHz quedó identificada en la CMR-19 tanto para las IMT como para HAPS. Teniendo en cuenta lo anterior y con el propósito de proteger el servicio Móvil contra las emisiones de los sistemas HAPS en la banda de 26 GHz, la Resolución 166 (CMR-19) [12] resolvió lo siguiente:

> (…) " 2. que, para proteger los sistemas del servicio móvil en el territorio de otras administraciones en la banda de frecuencias 24,25-25,25 GHz, el nivel de dfp producida por cada HAPS en la superficie de la Tierra en el territorio de otras administraciones no rebase los siguientes límites, establecidos para condiciones de cielo despejado, a no ser que se presente el acuerdo explícito de la administración afectada en el momento de la notificación de la HAPS:

−110,3	dB(W/(m² · MHz))	para	$0° \leq \theta \leq 4°$
−110,3 + 1,2 (θ − 4)	dB(W/(m² · MHz))	para	$4° < \theta \leq 9°$
−104,3	dB(W/(m² · MHz))	para	$9° < \theta \leq 90°$

siendo θ el ángulo de llegada de la onda incidente sobre el plano horizontal, en grados.

Para los límites anteriormente mencionados se tienen en cuenta 3 dB de pérdidas combinadas por desfase de polarización, pero no las pérdidas debidas al cuerpo humano. Durante los periodos de lluvia, la p.i.r.e. del haz afectado por el desvanecimiento debido a la lluvia puede aumentar en un nivel equiparable al del desvanecimiento debido a la lluvia, hasta 20 dB por encima de la p.i.r.e. asociada a la máscara de dfp en la superficie de la Tierra."

(…) "3. que, para proteger los sistemas del servicio móvil en el territorio de otras administraciones en la banda de frecuencias 27-27,5 GHz, el nivel de la dfp producida por cada HAPS en la superficie de la Tierra en el territorio de otras administraciones no rebase los siguientes límites, establecidos para condiciones de cielo despejado, a no ser que se presente el acuerdo explícito de la administración afectada en el momento de la notificación de la HAPS:

0,95 θ – 114	dB(W/(m² · MHz))	para	$0° \leq \theta < 5{,}7°$
0,6 θ – 112	dB(W/(m² · MHz))	para	$5{,}7° \leq \theta < 20°$
–100	dB(W/(m² · MHz))	para	$20° \leq \theta \leq 90°$

siendo θ el ángulo de llegada de la onda incidente sobre el plano horizontal, en grados.

Para los límites anteriormente mencionados se tienen en cuenta 3 dB de pérdidas combinadas por desfase de polarización, pero no las pérdidas debidas al cuerpo humano. Durante los periodos de lluvia, la p.i.r.e. del haz afectado por el desvanecimiento debido a la lluvia puede aumentarse en un nivel equivalente al del desvanecimiento debido a la lluvia, a un máximo de 20 dB por encima de la p.i.r.e. asociada a dicha máscara de dfp en la superficie de la Tierra."

(…) "4. que, para proteger los sistemas del servicio móvil en la banda de frecuencias 25,25-27 GHz en las administraciones vecinas, se requiere la coordinación de la estación transmisora en tierra de las HAPS, cuando la dfp en dB(W/(m² · MHz)) en la frontera de una administración vecina exceda un límite de dfp de −110,3 dB(W/(m² · MHz)), y que los valores de dfp se examinen teniendo en cuenta un porcentaje de tiempo del 1%

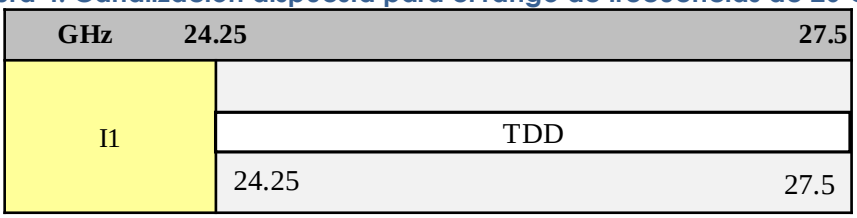
según la versión más reciente de la Recomendación UIT-R P.452 y una altura de antena de estación móvil de 20 m".

Así mismo, la Resolución 166 (CMR-19) [12] establece otros límites de densidad de flujo de potencia para proteger otros servicios, tales como fijo por satélite, entre satélites, investigación espacial, radioastronomía y el de Exploración de la Tierra por Satélite (pasivo), los cuales se encuentran en operación co-canal o adyacente a la banda de 26 GHz.

2.4. ARREGLOS DE FRECUENCIAS Y DISPOSICIONES EN LA BANDA DE 26 GHz

En cuanto a las disposiciones o arreglos de frecuencias para el uso de la banda de 26 GHz para las IMT, aún no se tiene consenso, sin embargo, el grupo de trabajo 5D de la UIT trabajó en esta temática en la 39 reunión celebrada en octubre de 2021, generando un borrador de revisión preliminar que ya fue incluido en los arreglos de frecuencia de la propuesta de actualización de la Recomendación UIT R-M.1036-6. [13]

Figura 4. Canalización dispuesta para el rango de frecuencias de 26 GHz



Fuente: Propuesta de actualización de la Recomendación UIT-R M.1036-6

Como se observa en la figura, se establece únicamente el modo de duplexación por tiempo (TDD) como mecanismo de emparejamiento para el funcionamiento de los equipos en esta banda de frecuencias. Ahora, particularmente la 3GPP ha denominado a esta banda como "n258 (24.25 GHz – 27.5 GHz)" [14] con posibilidades de anchos de banda de 50, 100, 200 y 400 MHz.

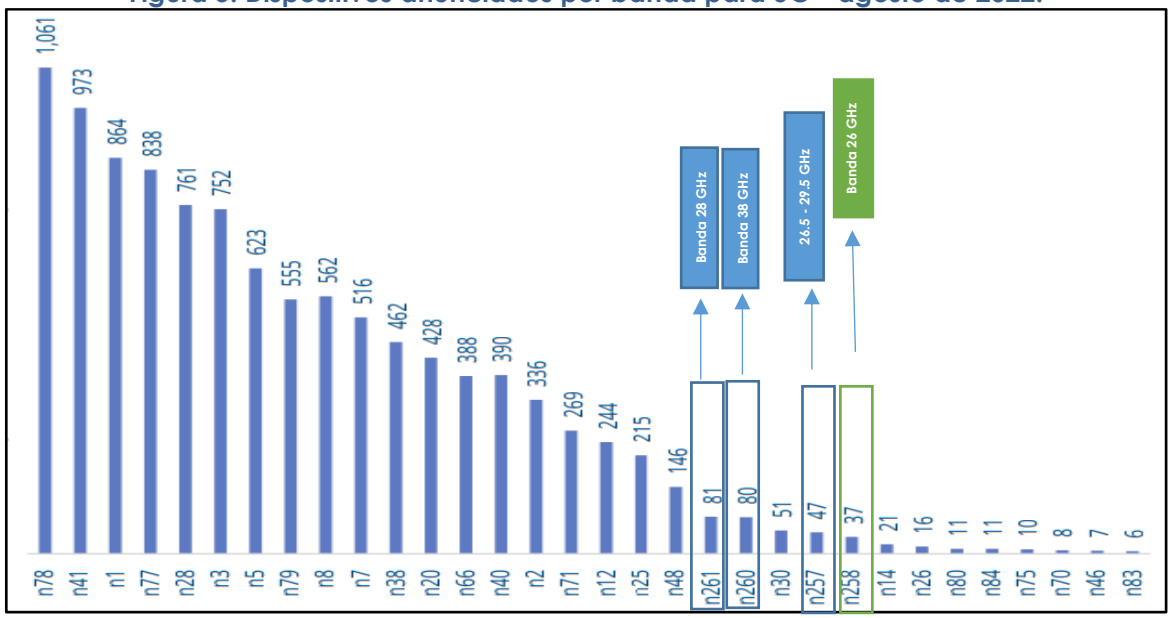
2.5. ECOSISTEMA Y DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

Con respecto al ecosistema de equipos, la Asociación Mundial de Proveedores Móviles (GSA por sus siglas en inglés), entidad dedicada a supervisar e investigar los desarrollos de banda ancha móvil en todo el mundo, en su reporte denominado "Mirada del mercado 5G" de septiembre de 2022, mostró las estadísticas de los

dispositivos anunciados para aplicaciones IMT de quinta generación (5G) que operan en las diferentes bandas incluidas las bandas milimétricas[5] [15].

En la figura se observa que la cantidad de equipos disponibles para la banda n258 (banda de 26GHz) es inferior en un 55% en comparación con la banda n261 (banda de 28 GHz), banda que actualmente cuenta con el mayor número de dispositivos entre las bandas milimétricas. Esta situación podría ir mejorando a medida que se incremente el despliegue de las IMT de quinta generación por parte de las diferentes administraciones de espectro a nivel mundial.

Figura 5. Dispositivos anunciados por banda para 5G - agosto de 2022.



Fuente: Adaptado del reporte "*5G Market Snapshot*" de la GSA - septiembre de 2022. [15]

Por otra parte, la GSA en su reporte no precisa los tipos de dispositivos que operan para la banda n258 (banda de 26 GHz), por lo anterior, la ANE realizó una revisión del mercado internacional en las páginas web de diferentes fabricantes de equipos, tal como se puede observar en la Tabla 9 del presente documento, sin ser esta una lista taxativa de fabricantes y equipos.

[5] Bandas milimétricas n257 (26.5-29.5 GHz), n258 (24.25-27.5 GHz), n260 (37-40 GHz) y n261(27.5-28.35 GHz)

Tabla 9. Ecosistema de dispositivos que operan en la banda de frecuencias n258.

FABRICANTE	REFERENCIA	BANDAS DE OPERACIÓN	TIPO DE EQUIPO
The Peraso	PRS1520	n257, n258, n259, n260, n261	CPE, small cell
Sierra Wireless	EM9190 5G NR	n257, n258, n260, n261	Módulo
Apple	iPhone 14 Pro Modelo A2650	n258, n260, n261	Teléfono
Apple	iPhone 13 Modelo A2482	n258, n260, n261	Teléfono
ZTE	ZTE 5G WI-FI PRO MU500 5G	n78, n5, n7, n258	Router
OnePlus	OnePlus 9 Pro	n258, 260, 261	Teléfono
Google	Pixel 6 Pro	n257, n258, n260, n261	Teléfono
Samsung	Galaxy S22 Ultra	n258, n260, n261	Teléfono
Analog Devices	ADMV4828	n257, n258, n261	Modulo
Analog Devices	ADMV1128	n257, n258, n261	Modulo
MaxComm	OWR-203	n258, n260, n261	CPE
Comtrend Corporation	5GR-3560	n257, n258, n261	Router de exterior 5G NR
Qualcomm	Snapdragon X55	n257, n258, n260, n261	Modem

Fuente: ANE con información de las páginas de los fabricantes.

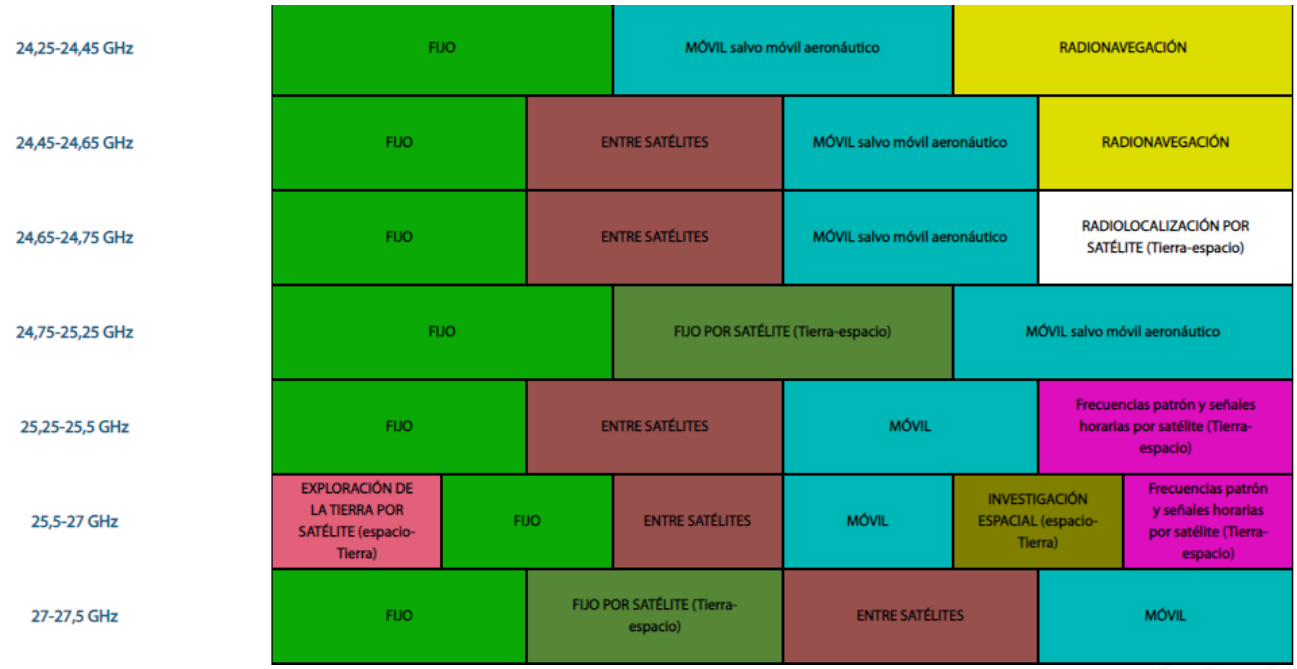
Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar que existe diversidad de fabricantes, así como de dispositivos que funcionan para distintas aplicaciones IMT de quinta generación (5G), entre los cuales se encuentran terminales de usuarios, puntos de acceso inalámbrico, módems USB, CPE router, módulos IoT, entre otros.

3. SITUACIÓN NACIONAL DEL ESPECTRO EN BANDA DE 26GHz

3.1. ATRIBUCIÓN EN COLOMBIA

De acuerdo con el CNABF vigente, y como se puede observar en la Figura 6 la banda de 24.25 a 27.5 GHz está atribuida a una gran diversidad de servicios, de los cuales el más utilizado es el Fijo (aunque con muy baja ocupación) donde se despliegan enlaces punto a punto sobre todo en zonas urbanas.

Figura 6. Atribución Banda 26 GHz en Colombia



Fuente: Elaboración ANE

Es importante resaltar que en línea con la decisión adoptada por la Región 2 en la CMR-19, en el año 2020 Colombia llevó a cabo la atribución al servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) del segmento comprendido entre 24.25 GHz y 25.25 GHz, dado que el segmento de 25.25 GHz a 27.5 GHz ya se encontraba atribuido al servicio Móvil.

Ahora bien, en la Figura 7 se presenta la canalización usada para el despliegue de los enlaces fijos microondas en Colombia, la cual se basa en el Anexo 1 de la Recomendación UIT REC. UIT-R F.784-4, ocupando la parte media de la banda comprendida entre 25.25 a 26.5 GHz.

Figura 7. Canalización para el servicio Fijo en Colombia en la banda de 26 GHz

Fuente: Elaboración ANE

3.2. OCUPACIÓN DEL ESPECTRO

De acuerdo con la consulta realizada el 27 de septiembre de 2022 en el Visor de Espectro, la ocupación actual de la banda de 26 GHz, respecto a enlaces punto a punto del Servicio Fijo, es de diecinueve (19) enlaces, distribuidos de la siguiente manera:

- 10 del operador COMUNICACION CELULAR S A COMCEL S A
- 9 del operador COLOMBIA MOVIL S A E S P

Tabla 10 Distribución de la ocupación de la banda 26 GHz.

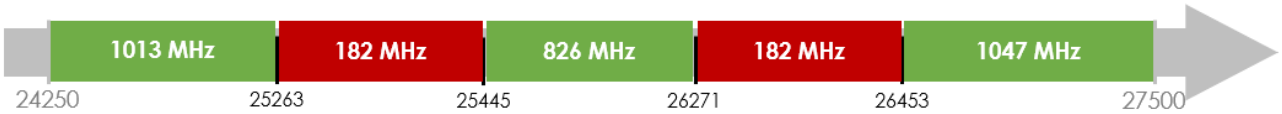
BW (MHz)	fn (MHz)	fn' (MHz)	Departamento	Municipio	Fecha de vencimiento	Operador
28	25431	26439	Antioquia	San Jerónimo	11 de junio de 2027	Operador A
14	25284	26292	Bolívar	Cartagena	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Atlántico	Soledad	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Atlántico	Barranquilla	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Atlántico	Barranquilla	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Atlántico	Barranquilla	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25326	26334	Atlántico	Barranquilla	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25270	26278	Atlántico	Barranquilla	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Bolívar	Cartagena	3 de febrero de 2023	Operador B
14	25284	26292	Bogotá, D.C.	Bogotá	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Huila	Rivera	20 de abril de 2027	Operador A

BW (MHz)	fn (MHz)	fn' (MHz)	Departamento	Municipio	Fecha de vencimiento	Operador
14	25284	26292	Boyacá	Samacá	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Cundinamarca	Tocancipá	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Tolima	Roncesvalles	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Arauca	Fortul	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Arauca	Arauquita	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Huila	Pitalito	20 de abril de 2027	Operador A
14	25284	26292	Bolívar	Cartagena	3 de febrero de 2023	Operador B
7	26274,5	25266,5	Valle del Cauca	Buenaventura	11 de junio de 2027	Operador A

Fuente: Elaboración ANE

Es importante resaltar que las estaciones de cada uno de los enlaces se encuentran en el mismo municipio, lo que significa que los rangos de frecuencias que se encuentran ocupados a la fecha, se encuentran restringidos únicamente en los puntos geográficos de la ubicación de los emplazamientos ubicados en los 14 municipios mencionados en la Tabla 10.

Figura 8. Ocupación por enlaces microondas de la Banda 26 GHz



Fuente: Elaboración ANE

Así mismo, cruzando la información de las frecuencias y anchos de banda de los 19 enlaces actualmente autorizados en SGE, se evidencia, como se muestra en la Figura 8, que existe disponibilidad inmediata a nivel nacional de 2886 GHz de espectro (sin tener en cuenta bandas de guarda) comprendidos entre los rangos de 24250 MHz a 25263 MHz, 25445 MHz a 26271 MHz y de 26453 MHz a 27500 MHz, los cuales se presentan de color verde en la figura.

Ahora, al revisar las fechas de vencimiento de los permisos de estos enlaces, vemos que el 47% de estos se vencen el 3 de febrero de 2023, sin embargo los rangos de frecuencias ocupados siguen siendo los mismos debido a que las frecuencias asignadas en el expediente 95000050 se solapan con las de los expedientes que se vencen hasta el 2027, no obstante lo que sí se disminuyen son los municipios

ocupados, quedando restringidos únicamente los puntos geográficos de los emplazamientos de conexión en los municipios de San Jerónimo, Bogotá, Rivera, Samacá, Tocancipá, Roncesvalles, Fortul, Arauquita, Pitalito y Buenaventura.

Ahora bien, debido a que esta banda de frecuencias fue recién identificada en la CMR-19, en Colombia normativamente no se ha establecido una fecha límite de vigencia de permisos, no obstante, desde hace unos años esta banda viene siendo restringida de los Procesos de Selección Objetiva (PSO), evitando con ello más asignaciones en esta banda de frecuencias.

En cuanto al servicio Fijo por Satélite, de acuerdo con la base de datos del MinTIC, actualmente no se encuentra ningún permiso vigente en el país en el rango de 24.25 a 27.5 GHz, no obstante, si hay registro de operación satelital (satélites geoestacionarios y no geoestacionarios) en los rangos adyacentes de 27.5 - 29 GHz y 29.1 - 30 GHz.

Como resultado de esto y teniendo en cuenta que esta ocupación satelital se presenta en un ámbito internacional, la UIT-R ocupó su atención en este tema durante el ciclo de estudios de la CMR-19, debido a la posible afectación que se podría presentar con la atribución e identificación de la banda de 26 GHz para las IMT. En consecuencia, se realizaron diversos estudios de compartición y compatibilidad que llevaron como resultado a adoptar algunas medidas reglamentarias dispuestas en la Resolución 242 (CMR-19) [16] las cuales se recomienda tener en cuenta en los procesos de asignación. En la sección 3.4.2.1 del presente documento se detallan las medidas indicadas en dicha resolución.

De manera semejante, la administración de Colombia se aunó a la realización de estudios internos de convivencia entre las IMT, el servicio fijo y el servicio fijo por satélite en la banda de 26 GHz, y en el año 2019 llevó a cabo un proyecto de investigación denominado "*Parámetros Técnicos de Operación para los Sistemas 5G, los Sistemas Punto A Punto y los Sistemas Fijos Por Satélite en la Banda de 26 GHz que permitan la convivencia entre ellos*". Este estudio tuvo como objetivo la definición de los parámetros técnicos de operación de los sistemas IMT, los sistemas punto a punto y el servicio fijo por satélite en operación co-canal y adyacente a la banda de 26 GHz.

3.3. RESULTADOS ESTUDIO DE CONVIVENCIA

En la Tabla 18 del Anexo 2 del presente documento se resumen los resultados del análisis de convivencia entre los tres servicios (fijo, móvil y fijo por satélite) en escenarios co-canal y adyacente, los cuales se realizaron de acuerdo con las siguientes premisas:

- Los análisis consideraron los parámetros más restrictivos, es decir, PIRE máxima de transmisión y usuario víctima recibiendo al umbral de sensibilidad.
- Se consideran estaciones base de área media[6] (43dBm) y área amplia[7] (75dBm) según los criterios del 3GPP.
- Se usaron anchos de banda de enlaces microondas de 56 y 112 MHz, comunes en el mercado al momento del análisis de convivencia, por lo tanto, los resultados se realizan en torno a estos valores.
- Posteriormente la Universidad complementó el análisis de convivencia entre Sistemas 5G y Sistemas Punto a Punto, incluyendo también enlaces con ancho de banda de 14 MHz. Se analizó el caso en el que una Estación base gNB-5G interfiere a un enlace de microondas fijo; se muestran los resultados en la Tabla 19 del Anexo 2.
- Los análisis consideraron tres anchos de banda del transmisor 5G: 50 MHz, 100 MHz y 200 MHz. Además, se tomó un espaciado entre subportadoras de 120 kHz y se asumió la señal al 100% de carga (un usuario tiene asignado todos los recursos radio o varios usuarios están usando todos los recursos disponibles simultáneamente).

3.4. CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL DESPLIEGUE DE 5G PARA LA BANDA DE 26GHZ

La UIT ha dispuesto los requisitos para el despliegue de las 5G, algunos de ellos fueron los evidenciados en sección 1- GENERALIDADES DE 5gG del presente documento. Atendiendo estos requisitos el projecto *3rd Generation Partnership Project* (3GPP)[8] ha dispuesto las especificaciones técnicas que permitan, la fabricación y el despliegue de las redes de telecomunicaciones en tecnología 5G.

[6] De acuerdo con el estudio de análisis de convivencia se consideraron dos tipos de estaciones base gNB posiblemente interferentes; por una parte, las de alcance micro celular o de área mediana (43dBm), y por otra, las macro celular o de área amplia (75 dBm) según los criterios de la 3GPP
[7] Idem
[8] 3GPP es un proyecto de colaboración entre un grupo de asociaciones de telecomunicaciones con el objetivo inicial de desarrollar especificaciones aplicables a nivel global para sistemas móviles de tercera generación (3G). Desde entonces, el proyecto ha ampliado su enfoque para incluir el mantenimiento y desarrollo de especificaciones técnicas de nuevas generaciones de sistemas móviles incluyendo 5G.

Algunas de las disposiciones del 3GPP, relacionadas con la estructura de la trama, los anchos de banda y las emisiones no deseadas de la banda de operación, se detallan en el Anexo 1 de este documento.

En este mismo sentido, la UIT ha generado recomendaciones que permitan la convivencia entre los diferentes usuarios de radiocomunicaciones que tienen redes desplegadas en la banda de 26 GHz, esto con el fin de promover el desarrollo de los sistemas móviles en tecnología 5G libre de interferencias con los demás servicios.

Al respecto, dentro de la revisión que se presenta a continuación se incluyen también las disposiciones que adelantó la Comisión Europea y que complementan lo indicado por la UIT.

3.4.1. CONVIVENCIA DE REDES 5G Y SERVICIOS EXISTENTES

Recomendaciones UIT

Teniendo en cuenta que durante la CMR-19 el mayor inconveniente que tuvo la identificación de la banda de 26 GHz para las IMT fue la compartición y coexistencia con los diferentes servicios a los que está atribuida la banda de frecuencias en co-canal y en adyacencia, la Resolución 242 (CMR19) [16] resolvió inicialmente unas medidas técnicas y operativas para, por una parte, proteger a los servicios existentes y por otra, permitir el desarrollo continuo y sin inconvenientes de las IMT.

Entre las medidas reglamentarias que estableció la resolución, se resaltan las siguientes:

1. Que las administraciones apliquen las siguientes condiciones para la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz:
   - Adoptar medidas prácticas que permitan garantizar que las antenas transmisoras de las estaciones base en exteriores apunten normalmente por debajo del horizonte al desplegar estaciones base IMT en la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz. El apuntamiento mecánico debe estar en el horizonte o por debajo de él;
   - En la medida de lo posible, los emplazamientos de las estaciones base IMT en la banda de frecuencias 24,45-27,5 GHz que utilicen valores de potencia isótropa radiada equivalente (p.i.r.e.) por haz que rebasen los 30 dB (W/200 MHz) se elegirán de modo que la dirección de máxima radiación de cualquier antena se aparte de la órbita de los satélites geoestacionarios, dentro de la línea de visibilidad directa de la estación base IMT, en ±7,5 grados;
2. Que la protección de las estaciones terrenas de SETS (Servicio de Exploración de la Tierra por Satélite)/SIE (Servicio de Investigación Espacial) en la banda de

frecuencias de 25,5-27 GHz y las estaciones del SRA (Servicio de Radioastronomía) en la banda de frecuencias de 23,6-24 GHz, y la coexistencia entre las estaciones terrenas del SFS (Servicio Fijo por Satélite) en las bandas de frecuencias 24,65-25,25 GHz y 27-27,5 GHz, y las estaciones IMT debe facilitarse mediante acuerdos bilaterales para la coordinación transfronteriza, según sea necesario;

3. Que el funcionamiento de las IMT en la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz proteja los sistemas del SETS (pasivo) actuales y futuros en la banda de frecuencias 23,6-24 GHz;
4. Que las estaciones IMT en la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz se utilizan para aplicaciones del servicio móvil terrestre.

Así mismo, la misma resolución anima a las administraciones a que:

- Se aseguren de que las disposiciones para la implementación de las IMT permitan la utilización continua de las estaciones terrenas del SETS, SIE, SFS y su desarrollo futuro;
- Mantengan el diagrama de la antena de las estaciones base IMT dentro de los límites de la envolvente aproximativa definida en la Recomendación UIT-R M.2101;
- Apliquen los límites de las emisiones no esenciales de la Recomendación UIT-R SM.329, Categoría B, para las bandas 50,2-50,4 GHz y 52,6-54,5 GHz cuando pongan a disposición la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz para las IMT;
- Para el futuro desarrollo del SETS (pasivo) en la banda de frecuencias 23,6-24 GHz, las administraciones deben considerar técnicas adicionales de mitigación (por ejemplo, bandas de guarda) más allá de los límites especificados en la Resolución 750 (Rev.CMR-19), según proceda,

Por último, la Resolución 242 (CMR-19) [16] invita al sector de radiocomunicaciones de la UIT-R a que:

- Elabore disposiciones de frecuencias armonizadas para facilitar el despliegue de las IMT en la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz, teniendo en cuenta los resultados de los estudios de compartición y compatibilidad realizados en el marco de la preparación de la CMR-19;
- Elabore una Recomendación UIT-R sobre metodologías para el cálculo de las zonas de coordinación en torno a las estaciones terrenas del SETS y el SIE con el fin de evitar la interferencia perjudicial causada por los sistemas IMT en la banda de frecuencias 25,5-27 GHz;
- Elabore una o varias Recomendaciones UIT-R para ayudar a las administraciones a reducir la interferencia causada por las estaciones terrenas del SFS a las estaciones IMT que funcionan en las bandas de frecuencias de 24,65-25,25 GHz y 27-27,5 GHz;

- Actualizar las Recomendaciones UIT-R existentes o elaborar una nueva Recomendación UIT-R, según proceda, para dar a las administraciones afectadas información y asistencia en cuanto a las posibles medidas de coordinación y protección del servicio de radioastronomía en la banda de frecuencias 23,6-24 GHz contra el despliegue de las IMT;
- Examinar periódicamente, según proceda, la incidencia de la evolución de las características técnicas y operativas de los sistemas IMT (incluida la densidad de estaciones base) y la de los sistemas de los servicios espaciales en la compartición y la compatibilidad y a tener en cuenta los resultados de estos exámenes en la elaboración y/o revisión de las Recomendaciones e Informes del UIT-R que traten, entre otros, en caso de necesidad, las medidas aplicables para mitigar el riesgo de interferencia en los receptores espaciales,

En resumen, a través de la aprobación de la Resolución 242 (CMR-19) [16] se evidencia un interés por parte del sector UIT-R, para proteger a los servicios existentes y permitir su desarrollo continuo, ya que la identificación de bandas de frecuencias para las IMT puede alterar la situación de compartición respecto de las aplicaciones de servicios a los que la banda de frecuencias ya está atribuida, y puede obligar a tomar medidas reglamentarias adicionales. De hecho, las medidas tomadas en la CMR-19 se llevaron a cabo sobre la base de las características disponibles en ese momento, y en consecuencia los resultados pueden diferir si estas características llegan a cambiar en un futuro, en caso tal se deberán realizar los ajustes respectivos.

Específicamente, en cuanto a la protección del servicio de Exploración de la Tierra por Satélite pasivo (SETS), la CMR-19 aprobó adicionalmente la Resolución 750 (Rev.CMR-19) [17]. Esta resolución surge como respuesta a una preocupación global por proteger el servicio de Exploración de la Tierra por Satélite (SETS) pasivo que funciona en diversas bandas de frecuencias, entre estas, la banda de 23.6 a 24 GHz (rango adyacente inferior a la reciente banda de 26 GHz identificada para las IMT a nivel global) y que podría verse afectada por emisiones no deseadas de los servicios activos en adyacencia.

Es importante mencionar que el SETS pasivo utiliza sensores para estudiar los fenómenos naturales que producen emisiones radioeléctricas en frecuencias determinadas por las leyes de la naturaleza, por lo que resulta imposible desplazar la frecuencia para evitar o reducir los problemas de interferencia. Adicionalmente estos sensores de radiaciones naturales (procedentes de tierra, mar y aire), trabajan con niveles de potencia de recepción extremadamente bajos por lo cual son muy sensibles al ruido o a la interferencia.

Así las cosas, el resuelve de la Resolución 750 (Rev.CMR-19) [17] establece que las emisiones no deseadas de las estaciones puestas en servicio en las bandas de

frecuencias del Cuadro 1-1 de la mencionada resolución, no deberán rebasar los correspondientes límites indicados en dicho cuadro, ateniéndose a las condiciones especificadas. A continuación, se extraen los límites aplicables al servicio móvil en la banda de 26 GHz (24,25-27,5 GHz):

Tabla 11 Extracto del Cuadro 1.1 de la Resolución 750 (Rev. CMR-19) aplicable a la banda de 24.25-27.5 GHz.

Banda atribuida al SETS (pasivo)	Banda atribuida a los servicios activos	Servicio activo	Límites de la potencia de las emisiones no deseadas de las estaciones de servicios activos en un ancho de banda determinado en la banda atribuida al SETS (pasivo)
23,6-24,0 GHz	24,25-27,5 GHz	Móvil	–33 dBW[9] en cualquier subbanda de 200 MHz de la banda del SETS (pasivo) para las estaciones base IMT[10] –29 dBW[11] en cualquier subbanda de 200 MHz de la banda del SETS (pasivo) para las estaciones móviles IMT[12]

Fuente: Resolución 750 (Rev. CMR-19)

3.4.2. DECISIONES DE LA COMISIÓN EUROPEA PARA LA CONVIVENCIA CON OTROS SERVICIOS

La Comisión Europea mediante la Decisión 784 de 2019 adoptó una serie de directrices para todos los países miembros con el fin de armonizar el despliegue de la banda de 26 GHz en tecnología 5G.

Esta banda puede tener diferentes usos de espectro entre los países de la comunidad por tanto se determinan condiciones técnicas generales para la convivencia entre la tecnología 5G y los diferentes servicios de radiocomunicaciones tanto en co-canal como en banda adyacente. A continuación, se mencionan algunas consideraciones que serán insumo para el desarrollo de esta banda de frecuencia en Colombia.

[9] Se aplicará un límite de –39 dB (W/200 MHz) a las estaciones base IMT puestas en servicio después del 1 de septiembre de 2027. Este límite no se aplicará a las estaciones base IMT que se hayan puesto en servicio antes de esa fecha. Para dichas estaciones base de las IMT, se continuará aplicando el límite de –33 dB (W/200 MHz) después de esa fecha.
[10] El nivel de potencia de emisión no deseada se considera en términos de PRT. La PRT se entiende aquí como la integral de la potencia transmitida por todos los elementos de antena en diferentes direcciones por toda la esfera de radiación.
[11] Se aplicará un límite de –35 dB (W/200 MHz) a las estaciones móviles IMT puestas en servicio después del 1 de septiembre de 2027. Este límite no se aplicará a las estaciones móviles IMT que se hayan puesto en servicio antes de esa fecha. Para dichas estaciones móviles IMT, se continuará aplicando el límite de –29 dB (W/200 MHz) después de esa fecha.
[12] El nivel de potencia de emisión no deseada se considera en términos de PRT. La PRT se entiende aquí como la integral de la potencia transmitida por todos los elementos de antena en diferentes direcciones por toda la esfera de radiación.

Servicio fijo (FS) en la banda de 26 GHz

Debido a que porciones de la banda de 26 GHz están siendo utilizados por los estados miembros para el servicio fijo con conexiones microondas, el artículo 4 de la Decisión 784 de 2019 de la Comisión Europea, establece que los Estados miembros pueden permitir el funcionamiento continuado de enlaces fijos microondas en la banda de frecuencias 24.25- 27.5 GHz, siempre y cuando los sistemas IMT puedan coexistir con tales enlaces fijos mediante la gestión del uso compartido del espectro.

Es de anotar que la Comisión no define una forma concreta para el manejo o mitigación de interferencias [18] entre 5G y el servicio fijo, dejando que la coexistencia se maneje de manera independiente por cada país, pero haciendo énfasis en que se promueva la liberación de esta banda para el uso de 5G.

Ahora bien, la Comisión publicó un borrador de documento a manera de "toolbox" [] donde guía a las administraciones para la coexistencia de los dos servicios en diferentes escenarios (urbano, suburbano e indoor) como también mediante diferentes formas de gestión del espectro como son: 1) compartición en frecuencia y espacio, 2) compartición en frecuencia y separación en espacio, 3) compartición en espacio y separación en frecuencia y 4) separación en espacio y en frecuencia, indicando que cada país de acuerdo con su situación de despliegue del servicio fijo podría optar por la reglamentación de uno u otro modo.

Servicio fijo por satélite (SFS) en la banda de 26 GHz

En varios países de la Unión Europea se hace uso de las comunicaciones Tierra-espacio del Servicio Fijo por Satélite (SFS), el cual de acuerdo con la Decisión 784 de 2019 debe estar debidamente protegido frente a las comunicaciones del servicio móvil, garantizando que los despliegues del SFS actuales y futuros no tengan un impacto negativo en la implantación y la cobertura de los servicios terrestres de 5G.

Al respecto la Decisión 784 de 2019 indica que la coexistencia entre el servicio móvil y el SFS en la banda de 26 GHz puede garantizarse aplicando, cuando proceda, limitaciones técnicas en una zona geográfica limitada alrededor de una estación terrena de comunicaciones por satélite.

Uso de HAPS en la banda de 26 GHz

La Comisión Europea prohíbe la conectividad desde las estaciones base hacia las estaciones terminales a bordo de los HAPS y solo permite la conectividad desde las estaciones terminales a bordo de los HAPS hacia las estaciones base, toda vez que el uso de vehículos aéreos tripulados, como los drones, con redes 5G en la banda

de 26 GHz podría tener repercusiones en el uso actual de los receptores de satélite del SFS.

Sincronización de redes TDD 5G

Las redes 5G pueden presentar algunos problemas técnicos que afectan su cobertura y desempeño los cuales están relacionados al modo de operación usando el esquema de duplexación por división de tiempo (TDD) – ver Anexo 1 y 5. Para utilizar el espectro de manera eficiente en la banda de 26 GHz, todas las redes TDD que operan en el mismo rango de frecuencia o bandas adyacentes y se encuentran dentro de la misma área deben estar sincronizadas.

Para la Comisión Europea en su Reporte 68 [21], los operadores que tienen redes desplegadas en la misma área geográfica podrán acordar cuales condiciones de sincronización aplicar (acuerdos bilaterales o multilaterales).

Máscara de emisiones

Los parámetros técnicos de las estaciones base, denominados BEM (Block Edge Masks, máscaras de borde de bloque), son una condición necesaria para garantizar la coexistencia entre redes vecinas entre las redes 5G que se desplieguen cuando no existen acuerdos bilaterales o multilaterales entre los operadores de tales redes. En caso de requerirse la Recomendación 784 de 2019 establece en su anexo 3 las condiciones técnicas, como límite de potencia de referencia en bloques adyacentes y en no adyacentes.

Ancho de banda

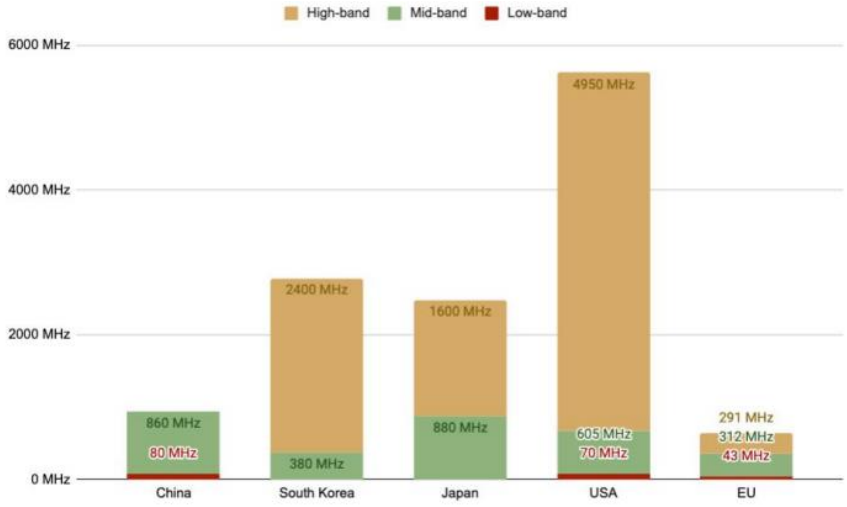
El 3GPP en su publicación 15, TS 38.104 define la banda de frecuencias 26 GHz (banda n258) para su uso mediante nueva tecnología radioeléctrica sobre la base del dúplex por división de tiempo (TDD) y anchos de banda de canal de 50 MHz, 100 MHz, 200 MHz, y 400 MHz.

4. REVISIÓN INTERNACIONAL DE ESPECTRO ASIGNADO PARA 5G

Como se expuso en el numeral 1.3 se ha identificado a manera internacional espectro en bandas bajas (menor a 1GHz), medias (1-6 GHz) y altas (mayores a 6GHz) para el despliegue de la tecnología 5G.

De acuerdo con el Observatorio de 5G[13], el interés de la asignación de espectro para 5G ha sido diferente entre los países y regiones y esto se puede evidenciar en la siguiente figura comparativa de espectro asignado a nivel internacional.

Figura 9. Cantidad de espectro asignado (por rango de frecuencia) para 5G en mercados internacionales



Fuente: 5G Observatory [22]

El observatorio 5G destaca que las bandas altas son las más populares para la nueva tecnología, además que es la categoría de frecuencias en donde se encuentra la mayor cantidad de espectro disponible. En efecto, USA es el que ha liderado la asignación en bandas altas con 4950MHz[14] seguido por Corea del Sur.

También se puede evidenciar de la figura anterior que los países de la Comunidad Europea son los que menos cantidad de espectro han asignado para 5G.

[13] El observatorio 5G fue establecido por la Comisión Europea para la revisión del avance en la implementación de 5G en los Estados miembros - https://5gobservatory.eu
[14] USA ha asignado en bandas altas las frecuencias de 24GHz, 28GHz, 39GHz y 47GHz.

4.1. CASOS DE SUBASTAS DE ESPECTRO EN BANDA DE 26GHZ

Sobre los procesos de subasta en la banda de 26 GHz alrededor del mundo, se revisó la situación en 15 países de los cuales 12[15] corresponden a Europa y el resto a la región de América[16].

Para cada uno de los países incluidos en la revisión se extrajo información sobre el estado actual de la subasta, la fecha de realización de la subasta, los operadores a los que se les asignó espectro, la duración de las licencias asignadas, si correspondió o no a una subasta conjunta y qué bandas. Adicionalmente, se evaluó si la asignación de espectro fue regional o nacional, la cantidad de espectro ofertado, y el precio que pagó el operador por la licencia. De igual manera, se extrajo información particular del proceso de subasta que es de interés para este estudio, que incluye: obligaciones de hacer, límite de adquisición de espectro por operador, entre otras reglas de la subasta. El *benchmark* realizado se puede consultar en el anexo 3 de este documento.

Para efectos del análisis, se plantearon dos grupos de países de acuerdo con los hallazgos de interés encontrados. En primer lugar, resaltamos las experiencias de asignación en Hungría, Luxemburgo, Chile y Francia donde ocurrieron particularidades a resaltar en el proceso de subasta, tal y como se resume en la Tabla 12.

Tabla 12. Casos a resaltar

País	Detalles
Francia	Se encuentra actualmente en licencias de pruebas tanto para la banda de 26GHz como para 3.8-4.0GHz. [23] Estas licencias han sido otorgadas a diferentes tipos de industrias para experimentos, y corresponden principalmente a licencias locales. A la fecha de consulta, se han adjudicado alrededor de 112 licencias. Entre las condiciones que planteó ARCEP para los titulares de las autorizaciones, se encuentra permitir que terceros (cualquiera que no sea el titular) utilicen su propia red experimental para probar su propia red 5G. [24]
Hungría	En 2014 la banda de 2.6 GHz y 26 GHz se declararon no subastadas. Aunque en el momento

[15] Austria, Dinamarca, Grecia, Croacia, Finlandia, Italia, Eslovenia, Bulgaría, Alemania, Francia, Hungría y Luxemburgo.
[16] Chile, Brasil y EE.UU. En este último el proceso corresponde a la banda de 24 Ghz.

País	Detalles
	del proceso todavía no estaba la tecnología 5G identificada por la UIT. [25]
Chile	En 2021 se realizó la subasta para 700MHz, AWS y 3.5GHz. Para la banda de 26 GHz no se llevó a cabo una subasta porque Subtel consideró que había suficiente espectro para los operadores que expresaron interés (Claro, Entel y Wom), y a cada uno se le asignó un bloque de 400 MHz. [26] [27]
Luxemburgo	El plazo de consulta fue hasta diciembre de 2020, sin embargo, no obtuvieron propuestas claras. En marzo de 2021 el Ministerio de Telecomunicaciones decidió aplazar la asignación de la banda de 26 GHz [28]

Fuente: Elaboración ANE con base en Cullen International

La experiencia de estos cuatro países sugiere que el interés por la banda de 26 GHz no es homogéneo en todos los países, y que posiblemente algunas bandas son de mayor interés para los operadores antes que la banda de 26 GHz. De hecho, únicamente tres países de los 14 revisados ofrecieron una subasta exclusiva para la banda de 26 GHz (Finlandia, Bulgaria, Alemania[17]). La Tabla 13 presenta un resumen de los demás países analizados.

Tabla 13. Casos en los que se subastó la banda de 26 GHz

País	Región	Estado	Fecha Subasta	Duración de la licencia (años)	Subasta conjunta SI/NO	Bandas	Asignación local/regional/nacional	Anchos de banda
Austria	Europa	Propuesta	2023-1		Sí	26GHz y restante 3.4-3.8GHz		
Dinamarca	Europa	Finalizada	2021-04	20.7	Sí	26GHz, 3.5GHz, 2.3GHz, 2.1GHz, 1500MHz	Nacional	400 MHz y 250 MHz

[17] EE.UU también tuvo subasta exclusiva para la banda de 24 GHz

País	Región	Estado	Fecha Subasta	Duración de la licencia (años)	Subasta conjunta SI/NO	Bandas	Asignación local/regional/nacional	Anchos de banda
Grecia	Europa	Finalizada	2020-12	15	Sí	26GHz, 3.4–3.8 GHz, 2.1 GHz, 700MHz	Nacional	200 MHz
Croacia	Europa	Finalizada	2021-08	15		26GHz, 3.5GHz, 700MHz	Nacional	200 MHz
Finlandia	Europa	Finalizada	2020-06	13.5	No		Nacional[18]	800 MHz
Italia	Europa	Finalizada	2018-10	19	Sí	26GHz, 3.5GHz, 700MHz	Nacional	200 MHz (mínimo)
Eslovenia	Europa	Finalizada	2021-04	15	Sí	26GHz, 700MHz, 1.5GHz, 2.1GHz, 3.5GHz	Nacional	200 MHz
EE.UU	América	Finalizada	2019-03	10	No	La subasta corresponde a 24GHz	Regional	100 MHz
Brasil	América	Finalizada	2021-11	20	Sí	26GHz, 3.5GHz, 2.3GHz y 700MHz	Regional	200 MHz
Bulgaria	Europa	En curso	2022-09	20	No		Nacional	
Alemania	Europa	En curso	2021-01		No			200 MHz[19]

Fuente: Elaboración ANE[20]

La mayoría de las subastas analizadas se realizaron en conjunto con la banda de 3.5 GHz o con el espectro disponible entre 3.4 y 3.8 GHz. Mientras que, en algunos casos, se subastó de manera conjunta con bandas bajas como fue el caso de Hungría (800 MHz), Grecia y Brasil (700 MHz).

El caso de Brasil es particular pues de acuerdo con Anatel, esta correspondería a la subasta más grande en la historia de la agencia. En total se ofrecieron 3500 MHz, de los cuales 3000 MHz correspondían a la banda de 26GHz, sin embargo, solo se asignaron 2800 MHz [29] [30]. Aunque, a diferencia de las demás bandas subastadas,

[18] Excepto las Islas Aland
[19] Consideran la posibilidad de bloques menores de acuerdo con las necesidades (50MHz, 100MHz y 150MHz)
[20] Con base en información de la plataforma Cullen International

la banda de 26 GHz no contaba con obligaciones de cobertura, sino que por recomendación del Tribunal de Cuentas de la Unión se incluyeron compromisos de conectividad en escuelas públicas del país [31].

En la mayoría de los casos, las licencias de 26 GHz son adjudicadas a nivel nacional, a excepción de Brasil y Chile. En el caso de Brasil de los 2800 MHz asignados, uno de los operadores participantes del proceso devolvió 200 MHz, quedando 1200 MHz con asignación a nivel nacional y 1400 MHz a nivel regional [29], esta estrategia podría responder a su sistema federal y la extensión del país, lo que podría hacer atractivo una asignación regional[21]. Entre los países con adjudicación nacional, Finlandia es el único que presenta una restricción, por la que se excluyen las Islas Aland de las licencias de 26 GHz [32].

En la mayoría de los países analizados, los bloques subastados corresponden a 200 MHz o 400 MHz, y a su vez esta suele ser el máximo de espectro que puede adquirir un operador. Aunque hay casos opuestos, por ejemplo, en el caso de Alemania consideran la posibilidad de ofrecer bloques de 150 MHz, 100 MHz o 50 MHz si es más eficiente. Mientras que en Finlandia, se ofertaron bloques de 800 MHz y cada operador tuvo acceso a un bloque, que en total correspondió a 2400 MHz [33].

Llama la atención que en Dinamarca el máximo espectro asignado fue de 1650 MHz, que es más de la mitad del espectro ofertado en esa subasta para la banda de 26 GHz (2850 MHz). De manera similar ocurre en Brasil, que del total de licencias nacionales entregadas la más alta corresponde a un bloque de 1000 MHz adquirido por el operador Algar Telecom [34].

Entre especificaciones u obligaciones de las subastas, es importante resaltar el uso no exclusivo de la banda de 26 GHz, así como el uso de 5G en otros países por parte de las verticales. Respecto al uso no exclusivo se encontró que, en Croacia se consideró un uso dinámico de esta banda, en el sentido que los usuarios podrán utilizar el doble de la cantidad de radiofrecuencia en caso de que otros usuarios no estén haciendo uso del recurso en una zona determinada [35].

Ahora bien, sobre el uso por parte de las verticales se encontró que Finlandia, por ejemplo, excluyó la parte baja (24.25-25.1) de la banda de 26 GHz ya que actualmente se encuentra reservada para redes locales en puertos o plantas industriales. De manera similar, en Dinamarca está contemplado el rango de frecuencia de 24.25-24.65 para el uso de verticales, y Austria espera liberar próximamente 1600 MHz de la banda de 26 GHz para conectividad local como

[21] De manera similar ocurre en EE.UU, donde en el caso de 24GHz se han asignado cerca de 3500 licencias.

soluciones de campo o usos industriales. Por su parte, las licencias de prueba adelantadas en Francia, como se explicó previamente tienen como finalidad promover experimentos a industrias del futuro, telemedicina, entre otros.

Con base en la revisión internacional adelantada, se encuentra la necesidad de agilizar la asignación en multi bandas para avanzar en la implementación de 5G en los países. En Europa, por ejemplo, el plan de acción de 5G para ese continente priorizó tres bandas: 700 MHz, 3.5 GHz y 26 GHz. Sin embargo, la asignación en cada una de estas bandas ha evolucionado de manera diferente. Para la banda de 700 MHz, se encuentra que 20 de 27 países de la EU han asignado al menos el 50% de la banda, de los cuales 17 ya cuentan con una asignación del 100% [36]. Mientras que en América, únicamente EE.UU y Canadá cuentan con asignación en bandas inferiores a 1 GHz, ya que en Latinoamérica aún no hay asignaciones de bandas bajas para tecnología 5G [37].

En el caso de la banda de 3.5 GHz, 23 de 27 países de Europa, ya cuentan con al menos el 50% de esta banda asignada, de los cuales 19 tienen un porcentaje mayor al 90% [36]. Y en el caso de las América, 10 de 22 países[22] ya cuentan con asignación en esta banda[23] [37].

Ahora, para el caso de 26 GHz, la situación es diferente a las bandas analizadas previamente, la mayoría de los países analizados no cuentan con asignación en este espectro. En Europa, por ejemplo, 19 de 27 países no han asignado la banda de 26 GHz, y por su parte, los otros 8 países han asignados la totalidad de la banda [36]. Mientras que en la región de las Américas, tan solo tres países han asignado espectro en esta banda: Brasil, Chile y EE.UU[24] [37].

En conclusión, los datos de espectro asignado por banda, así como el análisis de los casos de subasta sugieren que no hay tanto interés en la banda de 26 GHz actualmente como ocurre con otras bandas, por esta razón algunos países han considerado postergar la asignación de la misma. Se debe considerar que el despliegue de 5G en Colombia, de manera similar a lo que está ocurriendo en el mundo, podría estar liderado por otras bandas que ya cuentan con alto porcentaje de asignación.

[22] Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Estados Unidos, Uruguay, Venezuela.
[23] En el caso de las Américas, el rango de frecuencia principalmente utilizado suele ser 3.3-3.7 GHz.
[24] En el caso de EE.UU corresponde a la banda de 24GHz

5. CONDICIONES TÉCNICAS EN BANDA DE 3.5 GHz

La ANE adelantó un estudio sobre las condiciones técnicas necesarias para el despliegue de la tecnología 5G en la banda de 3.5 GHz. El alcance de este estudio abarcó temas claves tales como el ancho de banda necesario para el despliegue de esta tecnología, la necesidad de la sincronización entre las redes móviles y la convivencia del servicio móvil con otros servicios radioeléctricos en banda adyacente, como lo son el servicio fijo punto a punto y el servicio fijo por satélite.
A continuación, se presentan las consideraciones y recomendaciones identificadas dentro del estudio.

5.1. TAMAÑO DE BLOQUE

Para determinar un plan de banda adecuado para la banda de 3.5 GHz (por ejemplo, el tamaño mínimo del bloque de frecuencia y ancho de banda máximo por PRST), se deberán considerar las condiciones dispuestas en las siguientes recomendaciones internacionales y aspectos nacionales:

Consideraciones nacionales:

- En Colombia existe una disponibilidad inmediata de la banda de 3.5 GHz (3300-3700 MHz) para llevar a cabo el proceso de asignación.
- En la manifestación de interés realizada en Colombia en el año 2021 dos operadores regionales manifestaron su interés en adquirir licencias regionales y otros tres operadores en licencias nacionales [38]
- A diferencia de Estados Unidos, Colombia no requiere un grado de protección alto y esquemas especiales para coordinar y compartir el espectro con servicios de radiocomunicaciones militar u otros usos o servicios radioeléctricos.
- El Decreto 984 de 2022 dispone un tope máximo de espectro por PRST de 100 MHz en bandas medias altas (banda de 3 – 6 GHz).

Consideraciones de asociaciones y organismos internacionales

- La Decisión de Ejecución 2019/235 de la Comisión Europea [39] indica que los Estados Miembros deben aspirar a garantizar una desfragmentación de la banda de frecuencias de 3400-3800 MHz con el fin de brindar oportunidades para acceder a extensas porciones de espectro contiguo.
- El Comité de Comunicaciones Electrónica (ECC) indica en el Reporte 287 de la ECC - Sección A1.3 [40] que porciones de espectro contiguas de

preferiblemente 80-100 MHz facilitan el despliegue eficiente de servicios de banda ancha inalámbrica.

- La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) recomienda que el espectro debe proporcionarse de manera que permita al menos tres bloques de 50 MHz de espectro contiguo para que al menos 3 operadores tengan 50 MHz cada uno. [41]

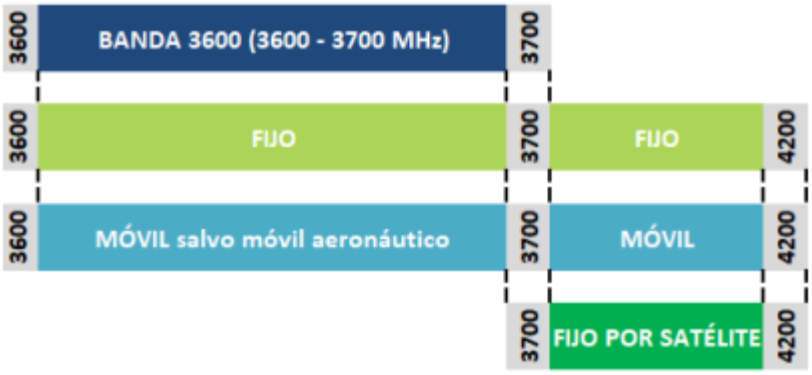
En este sentido, para el proceso de asignación de espectro en la banda de 3.5 GHz se proponen las siguientes condiciones para la definición del tamaño de bloque:

- Para los procesos nacionales promover anchos de banda contiguos de 80 a 100 MHz para maximizar la utilización del espectro disponible y hacer más rentable el despliegue de las redes móviles como se indica en el Reporte 287 de la ECC – Sección A1.3.1 [43]
- Realizar el proceso de asignación en bloques de tamaño de 10 MHz para asegurar que los operadores obtengan anchos de banda compatibles con las especificaciones técnicas de 5G New-Radio (3GPP 38.104 – Sección 5.3.2) [45] y que nuevos actores u operadores regionales puedan adquirir espectro evitando el alto costo de bloques más extensos.

5.2. CONVIVENCIA DE REDES 5G Y SERVICIOS ATRIBUIDOS EN LAS BANDAS ADYACENTES

Como se observa en la Figura 10, en Colombia la banda adyacente por encima de 3.7 GHz, se encuentra atribuida a los servicios Fijo, Móvil y Fijo por Satélite, y es necesario verificar las condiciones de protección de estos servicios primarios al momento de despliegue del servicio móvil IMT.

Figura 10 Atribución banda 3.6 – 3.8 GHz para Colombia



Fuente: Elaboración ANE

Adicionalmente, es importante asegurar la sincronización de las redes 5G que se desplieguen dentro del rango 3.3 – 3.7 GHz para evitar interferencia entre redes vecinas lo cual se revisará dentro de este capítulo.

5.2.1. *SERVICIO FIJO POR SATÉLITE (FSS) EN LA BANDA* ADYACENTE *DE 3.5 GHz*

En el ANEXO 4 Convivencia con servicio fijo por satélite (FSS) del presente documento se relacionan de manera detallada las condiciones de Convivencia con el Servicio Fijo por Satélite (FSS) definidas por algunos países, y a continuación se relacionan algunas condiciones generales:

- En Europa, la decisión ECC (11)06 [46] establece que la coordinación entre estaciones base de las redes móviles 5G y las estaciones terrenas del servicio FSS, que pueden llegar a presentar interferencia, debe realizarse basada en la revisión de caso por caso, puesto que no existe un límite único de distancia de separación, banda de guarda o intensidad de la señal que garantice la convivencia entre estos servicios.
- En caso de definirse distancias de separación, debe considerarse que estas no son iguales en todas las direcciones desde la estación terrena y dependen de la geografía del área y de la orientación de la antena de la estación [47], [48].

- El uso de mejores filtros en los receptores de las estaciones terrenas del servicio FSS es una estrategia para mitigar los riesgos de convivencia relacionados con la selectividad y el bloqueo del receptor fuera de banda. Los usuarios existentes del servicio FSS deben considerar si esta medida es necesaria basada en la revisión de caso por caso de las estaciones terrenas que pueden llegar a presentar interferencia.

Se recomienda para la banda adyacente a 3.7 GHz:

- Los límites de potencia y las emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE) de las especificaciones técnicas 3GPP 38.104 – Sección 6.6.4 [45] aplican a las estaciones base del servicio móvil para evitar la interferencia a otros servicios de radio en bandas adyacentes. Cabe notar que los límites sobre las emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE) en las especificaciones técnicas 3GPP 38.104 aplican para estaciones base TDD 5G que están en la misma área geográfica y están sincronizadas (aspecto que se analizará en el siguiente apartado). Las especificaciones en 3GPP 38.104 no aplican para estaciones base no sincronizadas y limites adicionales para las emisiones no deseadas pueden ser necesarios.

- El riesgo potencial de interferencia en la banda adyacente superior es mínimo (son muy pocos los casos particulares en donde los criterios de protección de estaciones terrenas del servicio FSS pueden no cumplirse). En Colombia se requiere el registro definitivo de estaciones terrenas satelitales desplegadas en banda adyacente, en cumplimiento de la Resolución Mintic 376 de 2022, para definir si se requieren límites adicionales a los parámetros operativos de las estaciones bases 5G para reducir la interferencia a niveles aceptables, por ejemplo, reducir la potencia de transmisión teniendo en cuenta los criterios de protección de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite [49].
- En caso de presentarse interferencias con el servicio FSS los PRTS deberán cumplir con límites adicionales (por ejemplo, el OBUE en frecuencias superiores a 3.7 GHz de estaciones base 5G ubicadas en lugares cerca de estaciones terrenas del servicio FSS).
- La posible interferencia a otros servicios proviene principalmente de las estaciones base del servicio móvil y no de dispositivos móviles (UE). Sin embargo, de ser necesario para fines de convivencia con otros servicios, se puede acordar a nivel nacional un límite de potencia radiada total (TRP) para dispositivos móviles en la banda de 3.3-3.7 GHz. En Europa, en la decisión 11(06) de la ECC [46], se recomienda (pero no se impone) que el valor TRP de dispositivos móviles no supere los 28 dBm.

5.2.2. SINCRONIZACIÓN DE REDES TDD 5G

Dado que el estándar 5G New Radio (5G-NR) recomienda una canalización no pareada (TDD), en Colombia se utilizará la canalización F3[25] (TDD) en el rango completo de 3300 a 3700 MHz, la cual está alineada con la banda de la 3GPP conocida como la banda n77 y n78 para 5G.

Dado lo anterior, para utilizar el espectro de manera eficiente en la banda de 3.5 GHz, todas las redes TDD que operan en el mismo rango de frecuencia o bandas adyacentes y se encuentran dentro de la misma área geográfica deben estar sincronizadas a nivel nacional [51], porque de lo contrario las redes 5G pueden presentar algunos inconvenientes en su operación que afectan su cobertura y desempeño, y pueden ser necesarias bandas de guarda hasta de 20 MHz para reducir la interferencia a niveles tolerables [52] o en su defecto la implementación de distancias de separación que pueden llegar a ser de hasta 60 km si las estaciones base operan en la misma banda de frecuencia y hasta de 14 km si operan en bandas adyacentes como se indica en el Anexo 5 del reporte 296 de la ECC [20]. Consecuentemente, si no se garantiza la correcta sincronización de redes 5G, el

[25] Recomendación UIT- R M. 1036-6

despliegue de estas es sub-óptimo desaprovechando su cobertura y capacidades mejoradas.

En general, los requisitos de sincronización enmarcan los siguientes aspectos:

- Referencia de reloj común
- Estructura de la trama TDD
- Referencia de tiempo (por ejemplo, el comienzo del primer intervalo de tiempo (slot) de la estructura de la trama TDD [50]
- Formatos de los intervalos de tiempo (slots) en la trama TDD [51]

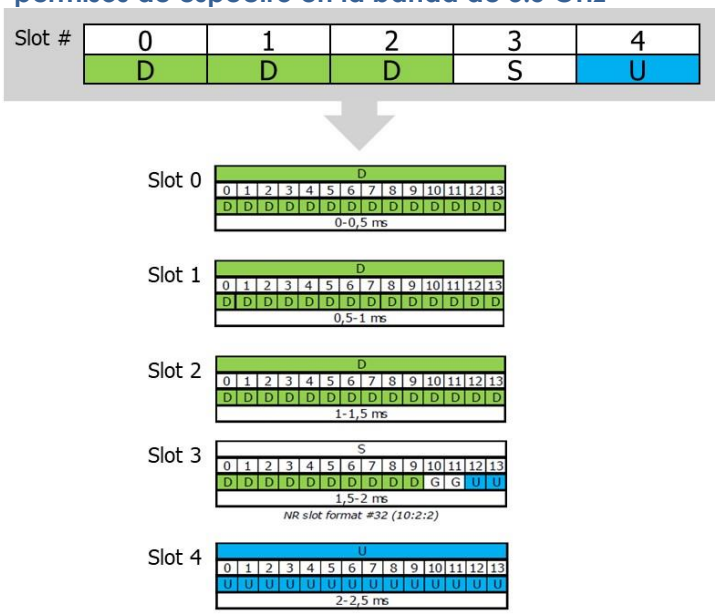
Así las cosas, la sincronización entre redes móviles TDD 5G está basada en el uso de parámetros de configuración comunes para garantizar que las estaciones base en la misma área geográfica envíen y reciban datos en los mismos intervalos tiempos para evitar interferencias [53]. Adicionalmente, la Recomendación ECC (15)01 [54] establece un conjunto de consideraciones para evitar áreas sin servicio 5G en zonas fronterizas debido a la posible interferencia a redes de países vecinos, y la Recomendación ECC 20(03) [55] facilita la sincronización en zonas fronterizas entre redes 5G y entre redes 4G y 5G, al reducir el número de estructuras de la trama TDD posibles, facilitando la negociación de acuerdos bilaterales o multilaterales y el uso de esquemas de mitigación de interferencia como la supresión de símbolos en DL (Downlink symbol blanking).

Teniendo en cuenta lo expuesto en este numeral y en el Anexo 5 del presente documento, para el caso de Colombia se recomienda lo siguiente:

- El funcionamiento de redes 5G en la banda de 3.5 GHz solo se realizará con espectro no emparejado (TDD). Con esto se permite establecer un tráfico DL/UL asimétrico necesario para diferentes casos de uso y se permite aprovechar la reciprocidad del canal para maximizar el desempeño de estaciones base con AASs (tecnología para *beamforming*).
- Aun cuando en las especificaciones técnicas 3GPP 38.104 [45] no se impone un límite superior en la potencia de estaciones base de área extensa (*wide area*), para fines de coordinación de redes TDD, se prevé la posibilidad de definir un límite de potencia a nivel regional o nacional el cual debe ser cumplido por los PRST.
- Los PRST con asignaciones en la banda de 3.5 GHz y que tienen redes desplegadas en la misma área geográfica, podrán acordar cuales condiciones de sincronización aplicar (acuerdos bilaterales o multilaterales). Dichos acuerdos deben notificarse a MinTIC antes de su puesta en operación.

- Si los titulares de los permisos de espectro no pueden llegar a un acuerdo, se aplicará la siguiente estructura de la trama TDD por defecto, [58], [59], [60]:

Figura 11. Estructura de la trama TDD requerida en caso de no haber acuerdo entre los titulares permisos de espectro en la banda de 3.5 GHz



Fuente: Elaboración propia

Nota: La estructura propuesta corresponde a DDDSU con prefijo cíclico (CP) normal y con una separación entre subportadoras (SCS) de 30 kHz lo que permite hacer uso de anchos de banda de 100 MHz. El *slot* S corresponde al formato #32 (10:2:2) especificado en 3GPP 38.213 – Sección 11.1.1 [61] asegurando poder desplegar celdas con radios hasta de ~10 km [58], [62].

- Todas las estaciones base tipo macro deberán incorporar un mecanismo para recuperar una referencia reloj común basada en UTC (*Universal Time Coordinated*) con una precisión de +/- 1.5 µs [63]. Varios mecanismos permiten cumplir con este requisito, donde los más comunes están basados en el sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) [58], [62], [64], [65].
- En el caso de redes no sincronizadas y semi-sincronizadas (por ejemplo, redes locales y celdas pequeñas o aisladas), los operadores de dichas redes deben cooperar para evitar interferencia mutua por medio de acuerdos bilaterales en donde dichos acuerdos deben ser notificados a MinTIC. Además, en caso de ser necesario, MinTIC puede establecer condiciones técnicas para mitigar la posible interferencia basadas en recomendaciones y decisiones internacionales [66], [67], [20], [68].
- Las redes ubicadas cerca de las fronteras con otros países deben cumplir con acuerdos bilaterales y/o con mecanismos de sincronización TDD adecuados para evitar interferencia y minimizar el impacto sobre el desempeño de las

redes. La supresión de símbolos en DL (*Downlink symbol blanking*) es un ejemplo de estos mecanismos [62], [59], [69].

- En caso de que sea necesario sincronizar redes 5G con redes 4G, las redes 5G deben usar la estructura de trama B propuesta en el Anexo 1 de [59] (DDDSUUDDDD con una SCS igual a 30 kHz) puesto que esta es compatible con la configuración número 2 de la estructura de la trama 4G (DSUDDDSUDD) definida en 3GPP TS 36.211 – Sección 4.2 [70]. En caso de que las redes 4G existentes usen otra configuración diferente al número 2, es necesario actualizar las redes para que operen con la configuración número 2.
- Puesto que los requerimientos y especificaciones de redes 5G continúan desarrollándose (por ejemplo, en futuros *releases* de 3GPP), el MinTIC se reserva el derecho de revisar y actualizar los parámetros de sincronización TDD previamente acordados a nivel nacional y/o local lo cual se prevé puede suceder dentro de los siguientes 5 años [54].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es conocido a nivel mundial que el espectro en bandas altas es necesario para soportar la velocidad ultra rápida de banda ancha móvil, contemplada para la tecnología 5G, especialmente en zonas de alta densidad de usuarios, dispositivos y tráfico. No obstante, estas bandas altas presentan desventajas debido a sus propiedades físicas de propagación lo que las limita a cortas distancias ya que se ven afectadas fácilmente por obstáculos como árboles o edificios. Basado en lo anterior, su despliegue estaría principalmente enfocado en las ciudades donde existe una mayor concentración y demanda por servicios de telecomunicaciones. Esto no implica que no puedan existir usos de este espectro en sitios rurales, sino que en lugares de baja demanda su uso será mucho menor.

- Los procesos de asignación multibanda son cada vez más frecuentes y se vienen realizando ya desde hace varios años alrededor del mundo. Alemania (2019), Italia (2018), Suiza (2019), Hong Kong (2019), Singapur (2020), Taiwán (2020), Reino Unido (2018), por mencionar algunos, han puesto a disposición del mercado espectro en bandas medias y altas en el mismo proceso de asignación.

- Se han desarrollado diferentes pruebas e implementado algunas soluciones 5G en la banda de 26 GHz en el mundo, la mayoría de estas, son soluciones de alta capacidad para sitios de alta demanda que permiten el uso de diferentes aplicaciones que abarcan; realidad virtual, realidad aumentada, descarga instantánea de video y datos, Inteligencia Artificial, tratamiento masivo de datos, gestión y tele mantenimiento de equipos, entre otros.

- Los principales casos de uso y que ya tienen implementaciones en varios países en la banda de 26 GHz, y en general también aplican en la tecnología 5G, son la provisión de banda ancha móvil eMBB para usuario final y la banda ancha fija inalámbrica FWA.

- Se espera que en un futuro en la banda 5G se pueda ofrecer conectividad y soluciones específicas de acuerdo con el tipo de usuario. Por ejemplo, la tecnología puede tener un gran impacto en la industria y en la gestión de puertos, almacenes y centros logísticos.

- A nivel regional como mundial se viene trabajando en las disposiciones técnicas y arreglos de frecuencia armonizadas para el futuro uso de la banda de 26 GHz para las IMT. En efecto, se encuentra en curso la actualización de la Recomendación UIT R-M.1036-6. Esta armonización a nivel global de la banda de 26 GHz permitirá lograr una itinerancia mundial y aprovechar las economías de escala, por lo tanto, hay una muy buena expectativa para que esta banda sea una de las más notables por encima de los 6 GHz para el despliegue del estándar 5G.

- Teniendo en cuenta los diversos servicios de radiocomunicaciones y aplicaciones que funcionan o funcionarán tanto en operación co-canal como adyacentes a la banda de 26 GHz, a nivel nacional e internacional se han venido realizando estudios de convivencia y compatibilidad. Así las cosas, mediante este documento se han identificado las consideraciones para la convivencia entre los diferentes usuarios de radiocomunicaciones que tienen redes desplegadas actualmente en la banda de 26 GHz, esto con el fin de promover el desarrollo de los sistemas móviles en tecnología 5G libre de interferencias con los demás servicios. Algunas de estas condiciones deberán ser parte del proceso de asignación de espectro que adelante el Ministerio sobre esta banda de frecuencia.

- En cuanto al ecosistema de equipos, de acuerdo con los reportes de la GSA, la cantidad de equipos disponibles (37 tipos de equipos) para la banda n258 (banda de 26 GHz) es inferior en un 55% en comparación con la banda n261 (banda de 28 GHz), banda que actualmente cuenta con el mayor número de dispositivos entre las bandas milimétricas. No obstante, y acorde con un análisis realizado por la ANE se pudo observar que existe diversidad de fabricantes, así como de dispositivos que funcionan en la banda de 26 GHz para distintas aplicaciones IMT de quinta generación (5G), entre los cuales se encuentran terminales de usuarios, puntos de acceso inalámbrico, módems USB, CPE router, módulos IoT, entre otros.

- Los datos de espectro asignado por banda, así como el análisis de los casos de subasta sugieren que actualmente es limitado el interés en la banda de 26 GHz, por esta razón la mayoría de las subastas analizadas se realizaron en conjunto con la banda de 3.5 GHz o con el espectro disponible en 3.5 GHz y en algunos casos la subasta se realizó en conjunto con una banda baja.

- En Colombia, el fabricante Qualcomm desde 2020[26], ha expresado su interés para que en Colombia se realice el proceso de asignación de la banda de 26 GHz. Adicionalmente, en los comentarios a la consulta de 5G publicada por Mintic el 7 de junio de 2022, otros fabricantes como Huawei y Nokia, también expresaron la importancia porque en el país se realice la asignación de espectro en bandas milimétricas. En la misma línea, proveedores como CLARO y Partners, o asociaciones nacionales e internacionales, manifestaron la importancia de la asignación de bandas milimétricas para ser utilizadas como un refuerzo de la capacidad proporcionada por bandas inferiores, indicando además que dichas bandas son vitales para alcanzar las velocidades ultra altas por encima de 1GBps y la baja latencia, ambas claves para las aplicaciones de Internet Industrial y Banda Ancha fija Inalámbrica.

- En la mayoría de los países analizados, los bloques subastados en la banda de 26 GHz corresponden a 200 MHz o 400 MHz. Esto está en línea con lo dispuesto por el 3GPP en su especificación 38.213 que indica un ancho de banda máximo por portadora de 400 MHz para esta banda de frecuencia. Ahora bien, existen casos en donde el espectro asignado por operador fue mucho mayor.

- El Decreto 984 de 2022, que modifica el Decreto 1078 de 2015, que fija los topes de espectro por proveedor de redes y servicios, establece diferentes rangos de frecuencia al cual el tope de espectro es aplicable. Teniendo en cuenta que la máxima frecuencia contemplada en el decreto es de 6 GHz, en caso de que se decida adelantar un proceso de asignación sobre la banda de 26 GHz deberá considerarse la modificación de esta normativa.

- En cuanto a la ocupación actual de la banda de 26 GHz en Colombia, se encuentran asignados 19 enlaces fijos microondas por parte de dos Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones (PRST). Ahora, dada la naturaleza de los enlaces microondas en esta banda alta de frecuencia, la ocupación se ve restringida únicamente entre los segmentos de 25263 MHz a

[26] Comentarios de Qualcomm al Documento de Consulta Pública sobre las Bandas de Frecuencia para el Futuro Desarrollo de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) en Colombia" publicado el pasado 18 de agosto de 2020, en los cuales Qualcomm llama la atención sobre los grandes beneficios que la asignación de bandas milimétricas (bandas entre los 24 y 71 GHz) traerá a la sociedad colombiana y comentarios de Qualcomm a la consulta pública del Plan Maestro de gestión de espectro -PMGE, en los cuales señalan que existen alrededor de 2000 MHz disponibles en este momento en la banda de 26 GHz y que teniendo en cuenta las tendencias internacionales en materia de asignación de espectro para 5G, solicitan iniciar de inmediato todos los procesos tendientes a que el espectro en bandas milimétricas sea asignado a la brevedad posible.

25445 MHz y de 26271 MHz a 26453 MHz y en los puntos geográficos de los emplazamientos de cada uno de los puntos de conexión.

- En Colombia existe disponibilidad inmediata a nivel nacional de 2886 MHz de espectro (sin tener en cuenta bandas de guarda), por lo cual de considerarse un proceso de asignación en la banda de 26 GHz se cuenta con el espectro requerido para subastar de 6 a 7 bloques de 400 MHz a nivel nacional.

- Se resaltan algunas políticas de asignación de espectro que promueven la compartición de la banda en aquellos sitios donde el operador asignatario no esté haciendo uso del espectro. Este tipo de políticas permiten un mejor uso del recurso como también el despliegue de redes privadas.

- En cuanto a la banda de 3.5 GHz no son necesarias bandas de guarda para la protección de servicios existentes en banda adyacente. Toda vez que, el riesgo potencial de interferencia en la banda adyacente superior es mínimo (son muy pocos los casos particulares en donde los criterios de protección de estaciones terrenas del servicio FSS pueden no cumplirse). Para estos casos específicos, es posible definir límites adicionales a los parámetros operativos de las estaciones bases 5G para reducir la interferencia a niveles aceptables, por ejemplo, reducir la potencia de transmisión teniendo en cuenta los criterios de protección de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite.

- Los PRST que desplieguen redes en una misma área geográfica, deberán acordar cuales condiciones de sincronización aplicar (acuerdos bilaterales o multilaterales). Dichos acuerdos deben notificarse a MinTIC antes de su puesta en operación. En el caso que los PRST no puedan llegar a un acuerdo, se aplicará la estructura de la trama TDD descrito en el numeral 5.2.2 sobre Sincronización de redes TDD 5G

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] ANE, «Documento de consulta pública sobre las bandas de frecuencia para 5G en Colombia,» Bogotá, 2019.

[2] ITU-R, «Recommendation ITU-R M.2083-0: IMT Vision – Framework and overall objectives of the future,» 2015.

[3] ITU-R, «Recommendation ITU-R M.2150-0: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020),» 2021.

[4] ANE, «Propuesta de las condiciones técnicas para la asignación de espectro para 5G (banda de 3.5 GHz),» bogotá, 2021.

[5] ITU-R, «Report ITU-R M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s),» 2017.

[6] ITU-R, «Report ITU-R M.2412-0: Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020,» 2017.

[7] OFCOM, «Enabling mmWave spectrum for new uses,» 2022.

[8] Realwireless, «26GHz - the oportunity for a fresg approach to licensing in higher frecuencies,» 2021.

[9] Qualcomm, «What`s in the future of 5G milimeter wave?,» 2021.

[10] Omdia, «5G pioneers in service provider markets,» 2022.

[11] G. Y. TMG, «Regional spotlights: Impact of mmWave 5G,» 2019.

[12] UIT, «RESOLUCIÓN 166 (CMR-19): Utilización de la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz por estaciones en plataformas a gran altitud del servicio fijo en la Región 2.,» [En línea].

[13] UIT, «Working Party 5D (WP 5D) - IMT Systems,» [En línea]. Available: https://www.itu.int/md/R19-WP5D-C-1361/en.

[14] European Comission, «5G for Europe: An Action Plan,» Septiembre 2016. [En línea].

[15] «GSA,» 09 2022. [En línea]. Available: https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-september-2022/. [Último acceso: 28 09 2022].

[16] UIT, «RESOLUCIÓN 242 (CMR-19) "Componente terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales en la banda de frecuencias 24,25-27,5 GHz.",» 2019. [En línea].

[17] UIT, «Resolución 750 (Rev.CMR-19): "Compatibilidad entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) y los servicios activos pertinentes",» 2019. [En línea].

[18] CEPT, «Harmonized technical conditions for the 24.25-27.5GHz frecuency band,» 2018.

[19] ECC, «Guidance to administration for Coexistence between 5G and fixed links in the 26GHz (toolbox),» 2019.

[20] ECC, «ECC Report 296 National synchronisation regulatory framework options in 3400-3800 MHz: a toolbox for coexistence of MFCNs in synchronised, unsynchronised and semi-synchronised operation in 3400-3800 MHz,» 2019.

[21] CEPT, «Harmonized techinmal conditions for the 26GHz frecuency band,» 2018..

[22] E. Commission, «Quarterly Report 16 - 5G observatory,» 2022.

[23] Cullen International, «Spectrum in the 26 GHz band awarded to 11 trial networks,» 8 Noviembre 2019. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/client/site/documents/B5TEEU20190012_daca69ec-93ae-4d77-8fba-8e658e04b5d2. [Último acceso: 25 Septiembre 2022].

[24] Arcep, «Tableau de bord des expérimentations 5G en France,» 28 Junio 2022. [En línea]. Available: https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-

chiffrees/experimentations-5g-en-france/tableau-de-bord-des-experimentations-5g-en-france.html#c20576. [Último acceso: 4 Octubre 2022].

[25] Culle International, «Hungarian regulator awards 265 MHz for €427m,» 12 Septiembre 2014. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/client/site/documents/FLTEEU20140056. [Último acceso: Septiembre 2022].

[26] Cullen International, «Wom, Movistar and Entel are the winners of 5G spectrum auctions in Chile,» 17 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/client/site/documents/FLSPCL20210002. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].

[27] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES, «EXTRACTO RESOLUCIÓN Nº 139 EXENTA, DE 2021, DE SUBTEL,» 3 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1155466. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].

[28] Cullen International, «Luxembourg 2021 – Consultation on 26 GHz,» [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/spectrum/awards/LU2021?regionCode=EU&regionCode=LN. [Último acceso: 25 Septiembre 2022].

[29] Cullen International, «Brazilian regulator adopts final rules for 5G multi-band spectrum auction,» 14 Octubre 2021. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/client/site/documents/FLSPBR20210003. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].

[30] Culle International , «Brazilian regulator awards multi-band spectrum to promote 5G services,» 13 Noviembre 2021. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/client/site/documents/FLSPBR20210004. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].

[31] Agência Nacional de Telecomunicações, «ACÓRDÃO 2032/2021 - PLENÁRIO,» 25 Agosto 2021. [En línea]. Available: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/*/KEY%253A%2522ACORDAO-COMPLETO-2497008%2522/DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/0/%2520. [Último acceso: 3 Octubre 2022].

[32] Cullen International, «Licences in Finland in the 26 GHz band,» [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/spectrum/licences/country/FI/band/26GHz?regionCode=EU&regionCode=LN. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].

[33] Cullen International , «Finland 2020b – 26 GHz auction,» [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/spectrum/awards/FI2020b. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].

[34] Cullen International, «Information Memorandum 1500 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 3.5 GHz and 26 GHz Auction,» Energistyrelsen, 2021.

[35] Hakom , «Javna dražba za dodjelu prava uporabe radiofrekvencijskog spektra u frekvencijskim pojasevima 700 MHz, 3600 MHz i 26 GHz Dražbovna dokumentacija».

[36] European Comission, «5G Observatory Quarterly Report 16 July 2022,» 2022. [En línea]. Available: https://5gobservatory.eu/wp-content/uploads/2022/08/QR-16_Final_PDF.pdf. [Último acceso: 3 Octubre 2022].

[37] Cullen International , «Spectrum Database,» Cullen International, Octubre 2022. [En línea]. Available: https://www.cullen-international.com/spectrum/licences?regionCode=EU&regionCode=LN. [Último acceso: Octubre 2022].

[38] Mintic, «Manifestaciones de interés del proceso para otorgar permisos del uso del espectro,» 2020.

[39] EU, «Commission Implementing Decision (EU) 2019/235 of 24 January 2019 on amending Decision 2008/411/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 3400-3800 MHz frequency band,» 2019.

[40] ECC, «ECC Report 287: Guiadance on defragmentation of the frequency band 3400-3800 MHz,» 2019.

[41] CEPTO, «CEPT Report 67: Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for spectrum use in support of the introduction of next-generation (5G) terrestrial wireless systems in the Union",» 2018.

[42] GSMA, «Vision 2030: Insights for Mid-band Spectrum Needs,» 2021.

[43] ECC, «ECC Report 287: Guiadance on defragmentation of the frequency band 3400-3800 MHz,» 2018.

[44] ECC, «ECC Report 287: Guiadance on defragmentation of the frequency band 3400-3800 MHz,» 2018.

[45] 3GPP, «5G; NR; TS 38.104 - Base Station (BS) radio transmission and reception (V16.7.0 Release 16),» 2021.

[46] ECC., «ECC Decision (11)06 Harmonised frequency arrangements and least restrictive technical conditions (LRTC) for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 3400-3800 MHz,» 2018.

[47] Transfinite-Systems, «Report for GSMA on the mitigations required for adjacent channel compatibility between IMT and ubiquitous FSS Earth Stations in the 3.4-3.8 GHz frequency band,» 2019.

[48] OFCOM, «Annexes: Award of the 700 MHz and 3.6-3.8 GHz spectrum bands,» 2020.

[49] ITU-R, «WP 4A - Documento 5D/734-E: Technical and operational characteristics and protection criteria of FSS systems for sharing and compatibility studies on WRC-23 agenda item 1.2,» 2021.

[50] 3GPP, «5G; NR; TS 38.101 - User Equipment (UE) radio transmission and reception, Part 1 (V16.9.0 Release 16),» 2021.

[51] GSMA, « 5G and the 3.3-3.8 GHz Range in Latam,» 2020.

[52] BnetzA., «President's Chamber decision of 14 May 2018 on the order for and choice of proceedings for the award of spectrum in the 2 GHz and 3.6 GHz bands for mobile/fixed communication networks (MFCN),» 2018.

[53] GSMA, «5G TDD Synchronisation: Guidelines and Recommendations for the Coexistence of TDD Networks in the 3.5 GHz Range,» 2020.

[54] ECC, « ECC Recommendation (15)01: Cross-border coordination for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the frequency bands: 694-790 MHz, 1427-1518 MHz and 3400-3800 MHz,» 2020.

[55] ECC, «ECC Recommendation (20)03: Frame structures to facilitate cross-border coordination of TDD MFCN in the frequency band 3400-3800 MHz,» 2020.

[56] ECC, « ECC Report 331: Efficient usage of the spectrum at the border of CEPT countries between MFCN TDD networks in the frequency band 3400-3800 MHz,» 2021.

[57] ITU-R, « Document 5D/716-E: Annex 5.19: Preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT 2020.TDD.SYNCHRONIZATION],» 2021.

[58] GSMA, «5G TDD Synchronisation: Guidelines and Recommendations for the Coexistence of TDD Networks in the 3.5 GHz Range,» 2020..

[59] ECC, « ECC Recommendation (20)03: Frame structures to facilitate cross-border coordination of TDD MFCN in the frequency band 3400-3800 MHz,» 2020.

[60] PTS, «Decision on permission to use radio transmitters in the 3.5 GHz and 2.3 GHz bands – Appendix A1,» 2021.

[61] 3GPP, «5G; NR; TS 38.213 - Physical layer procedures for control (V16.2.0 Release 16),» 2020.

[62] ECC, «ECC Recommendation (15)01: Cross-border coordination for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the frequency bands: 694-790 MHz, 1427-1518 MHz and 3400-3800 MHz,» 2020.

[63] ITU-T, «Recommendation ITU-T G.8271/Y.1366: Time and phase synchronization aspects of telecommunication networks,» 2020.

[64] ECC, «ECC report 216: Practical guidance for TDD networks synchronisation,» 2014.

[65] ARCEP, «Décision n° 2019-0862 de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes en date 2 juillet 2019 relative à la synchronisation des réseaux terrestres dans la bande 3.4 - 3.8 GHz en France métropolitaine,» 2019.

[66] EU., «Commission Implementing Decision (EU) 2019/235 of 24 January 2019 on amending Decision 2008/411/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 3400-3800 MHz frequency band,» 2019.

[67] CEPT., «CEPT Report 67: Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for spectrum use in support of the introduction of next-generation (5G) terrestrial wireless systems in the Union",» 2018.

[68] BnetzA., «Administrative rules for spectrum assignment for local spectrum usages in the 3700-3800 MHz band (Administrative rules for local broadband applications),» 2019.

[69] ECC, «ECC Report 331: Efficient usage of the spectrum at the border of CEPT countries between MFCN TDD networks in the frequency band 3400-3800 MHz,» 2021.

[70] 3GPP, «LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TS 36.211 - Physical channels and modulation (V.16.7.0 Release 16),» 2021.

[71] ITU-R, «Recommendation ITU-R SM.329.12: Unwanted emissions in the spurious domain,» 2012.

[72] FCC, «FCC 20-22: Expanding Flexible Use of the 3.7 to 4.2 GHz Band,» 2020.

[73] ANATEL, «Resolución No. 711,» 2019.

[74] ANATEL, «ACT No. 1477: Technical and operational requirements for use of the 3.300 MHz to 3.700 MHz range,» 2021.

[75] EU, «Commission Implementing Decision (EU) 2019/235 of 24 January 2019 on amending Decision 2008/411/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 3400-3800 MHz frequency band,» 2019.

[76] CEPT, «CEPT Report 67: Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for spectrum use in support of the introduction of next-generation (5G) terrestrial wireless systems in the Union",» 2018.

[77] ECC, «ECC Report 281: Analysis of the suitability of the regulatory technical conditions for 5G MFCN operation in the 3400-3800 MHz band,» 2018.

[78] ECC, «ECC Decision (11)06: Harmonised frequency arrangements and least restrictive technical conditions (LRTC) for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 3400-3800 MHz,» 2018.

[79] ECC, «ECC Report 254: Operational guidelines for spectrum sharing to support the implementation of the current ECC framework in the 3600-3800 MHz range,» 2016.

[80] ANFR, «Rapport CCE protection SFS vs IMT 5G à 3,8GHz du 20/09/2019,» 2019.

[81] Opererator-Watch, «France finally gets Spectrum to launch 5G,» 2020. [En línea]. Available: https://www.operatorwatch.com/2020/11/france-finally-gets-spectrum-to-launch.html.

[82] GSA, «Views on 5G Spectrum Awards in 3400-3800 MHz in Europe,» 2019.

[83] ECC, «ECC Report 296: National synchronisation regulatory framework options in 3400-3800 MHz: a toolbox for coexistence of MFCNs in synchronised, unsynchronised and semi-synchronised operation in 3400-3800 MHz,» 2019.

[84] S. Guo, X. Hou and H. Wang, "Dynamic TDD and interference management towards 5G," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2018.

[85] Nokia, «5G TDD Synchronization and Coordination Requirements,» 2019.

[86] ECC, «ECC Recommendation (20)03: Frame structures to facilitate cross-border coordination of TDD MFCN in the frequency band 3400-3800 MHz,» 2020.

[87] 3GPP, «5G; NR; TS 38.213 - Physical layer procedures for control (V16.2.0 Release 16),» 2020.

[88] BnetzA, «Administrative rules for spectrum assignment for local spectrum usages in the 3700-3800 MHz band (Administrative rules for local broadband applications),» 2019.

[89] UIT, «Report ITU-R M.2377-1: Radiocommunication objectives and requirements for Public Protection and Disaster Relief,» Ginebra, Suiza, 2017.

[90] ANE, «Documento de Consulta Pública sobre las bandas de frecuencia disponibles para el futuro desarrollo de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) en Colombia,» 2020.

[91] ANE, «Manifestaciones de interés del proceso para otorgar permisos del uso del espectro,» 2020.

[92] GSMA, «Vision 2030: Insights for Mid-band Spectrum Needs,» 2021.

[93] ANE, «Análisis de estaciones terrenas Banda C desplegadas en Colombia,» 2021.

[94] 3GPP, «5G; TS 23.501 - System architecture for the 5G System (5GS) (V16.10.0 Release 16),» 2021.

[95] GSMA, «5G Implementation Guidelines: NSA Option 3,» 2020.

[96] Qualcomm, «Key breakthroughs to drive a fast and smooth transition to 5G standalone,» 2019.

[97] Samsung, «SA Architecture White Paper,» 2021.

[98] 3GPP, «5G; NG-RAN; TS 38.401 - Architecture description (V16.7.0 Release 16),» 2021.

[99] OPEN-SIGNAL, «Understanding the mobile experience on T-Mobile's standalone 5G network,» 2021. [En línea]. Available: https://www.opensignal.com/2021/02/18/understanding-the-mobile-experience-on-t-mobiles-standalone-5g-network.

7. ANEXO 1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL 3GPP

En esta sección se puede encontrar algunas de las nuevas y más relevantes especificaciones de IMT-2020 definidas por 3GPP.

Estructura de la trama (frame) de radio 5G

Las redes de acceso 5G pueden operar usando el esquema de duplexación por división de frecuencia (FDD) o puede operar usando el esquema de duplexación por división de tiempo (TDD).

Una red FDD utiliza bandas de frecuencia diferentes para la comunicación en Download - DL y Upload - UL. La red en FDD ha sido la técnica más común para las comunicaciones móviles, y la mayoría de las redes 2G, 3G y 4G han adoptado este esquema como su esquema dúplex principal. Ahora bien, existen ciertas desventajas principales de FDD: 1) este esquema requiere que una parte del espectro no se utilice de manera eficiente al requerir una banda de guarda para que las bandas de frecuencia de DL y UL estén separadas y así evitar interferencia entre estas, y 2) el tráfico entre DL y UL no es flexible y es mayormente simétrico lo cual limita casos de uso en donde un tráfico asimétrico es deseable. Por ejemplo, para 5G se prevé aplicaciones con cargas en UL como lo es almacenamiento de archivos grandes en la nube y transmisiones tipo *broadcast* desde dispositivos móviles [53].

Por otra parte, una red TDD separa las señales de DL y UL mediante la asignación de intervalos de tiempo únicos para cada dirección, lo que permite el uso de un solo bloque de espectro no emparejado. En el nuevo estándar de 5G se incrementó substancialmente la flexibilidad del tráfico DL y UL para TDD. Para este caso, las transmisiones de las estaciones base se organizan en tramas de radio TDD.
La duración de una trama TDD (1 *frame*) es de 10 ms. Cada trama se divide en 10 subtramas (*subframe*), cada una con una duración de 1 ms. A su vez, cada subtrama se divide en intervalos de tiempo (*slots*) cuya duración depende de la separación en frecuencia entre subportadoras seleccionada (*numerology*).

En la especificación técnica 3GPP 38.213 [61] se encuentran definidos 55 diferentes formatos de un (1) intervalo de tiempo (1 *slot*), cada uno de los cuales corresponde a una combinación predefinida de símbolos tipo DL, UL y flexible en donde estos últimos pueden ser usados en transmisiones DL/UL o como el periodo de guarda requerido durante el cambio dirección del enlace de DL a UL. Al ajustar el número de símbolos de cada tipo, el rendimiento de la red se puede adaptar para satisfacer

diferentes necesidades de tráfico y ayudar a brindar la mejor experiencia de usuario posible.

Tabla 14 Ejemplo de formatos de un *slot* para 5G (DL: D, UL: U, flexible: F)

Format	Symbol number in a slot													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
2	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F
4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F	F
5	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F	F	F
6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F	F	F	F

Fuente: Tomado de 3GPP 38.213 – Sección 11.1.1 [61]

Se debe tener presente que las redes 5G pueden presentar algunos problemas técnicos que afectan su cobertura y desempeño los cuales están relacionados al modo de operación usando el esquema de duplexación por división de tiempo (TDD). Para utilizar el espectro de manera eficiente en un mismo rango de frecuencia o en bandas adyacentes dentro de la misma área de servicio se deben sincronizar las redes haciendo uso de los formatos de slot indicados.

Dado lo anterior, el formato que se utiliza de estructura de la trama es un tema para tener en cuenta, y así evitar interferencias perjudiciales entre redes en una misma área de servicios.

Ancho de banda

Con la interfaz de radio 5G se optimiza el funcionamiento de la red lo que permite a los operadores aprovechar al máximo el espectro contiguo para aumentar la velocidad de datos pico y mejorar la experiencia del usuario. Las especificaciones actuales de 5G (NR) en el rango de frecuencias FR1 (por debajo de 26 GHz) admiten anchos de banda de hasta 100 MHz mientras que en FR2(bandas de frecuencia por encima de 26GHz) se permiten anchos de banda de hasta 400 MHz. En la especificación de 3GPP 38.104 [45], el ancho de banda de las estaciones base de 5G para este rango de frecuencias se encuentra a continuación:

Tabla 15 Anchos de banda para 5G por debajo de 26GHz

SCS (kHz)	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
15	25	52	79	106	133	160	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	189	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	93	107	121	135

Tabla 16 Anchos de banda para 5G por encima de 26GHz

SCS (kHz)	50 MHz	100 MHz	200 MHz	400 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
60	66	132	264	N.A
120	32	66	132	264

Fuente: Tomado de 3GPP 38.104 – Sección 5.3.2 [45][27]

Emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE)

La complejidad de las redes y los dispositivos móviles ha incrementado con la implementación de tecnologías de múltiple-entrada múltiple-salida (MIMO) como sucede con 5G. Reconociendo la importancia de realizar pruebas de los dispositivos que emplean esta tecnología, los operadores y fabricantes han trabajado con la industria para desarrollar metodologías de pruebas *over-the-air* (OTA) que evalúan completamente el rendimiento de las unidades de banda base y el diseño de la antena (a través de mediciones en el aire). Parte de estas pruebas incluye el cumplimiento de los límites de las emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE) para evitar la interferencia a otros servicios de radio en bandas adyacentes. Específicamente, las OBUE son las emisiones en una frecuencia o frecuencias inmediatamente fuera del ancho de banda necesario que resulta del proceso de modulación (sin incluir las emisiones espurias).

En la especificación 3GPP TS 38.104 se definen los requisitos que aplican a las estaciones base 5G, para todos sus modos de transmisión previstos por el fabricante. Dentro de los diferentes tipos de estaciones se encuentran aquellas de amplia cobertura, de rango medio y de área local.

Adicionalmente, como se explica en la Recomendación ITU-R SM.329-12 [71], el OBUE en la categoría A que es una categoría genérica y especifica que identifica límites menos rigurosos en comparación con la categoría B los cuales son adoptados en Europa y utilizados por algunos otros países (la selección entre categorías representa un compromiso entre emisiones no deseadas más bajas y el costo del equipo).

[27] El valor SCS es la separación en frecuencia entre subportadoras y N_{RB} es el número de bloques de recursos (RBs)[27] ocupados en cada ancho de banda.

A continuación, se presentan límites para estaciones base de cubrimiento de área local en las categorías A y B que son principalmente utilizadas para cubrimientos pequeños como sucede para el uso de la banda de 26 GHz.

Tabla 17 Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base de área local (Categoría A y B)

Frequency offset of measurement filter -3dB point, Δf	Frequency offset of measurement filter centre frequency, f_offset	*Basic limits* (Note 1, 2)	Measurement bandwidth
0 MHz ≤ Δf < 5 MHz	0.05 MHz ≤ f_offset < 5.05 MHz	$-30dBm - \frac{7}{5}\left(\frac{f_offset}{MHz} - 0.05\right)dB$	100 kHz
5 MHz ≤ Δf < min(10 MHz, Δf_{max})	5.05 MHz ≤ f_offset < min(10.05 MHz, f_offset_{max})	-37 dBm	100 kHz
10 MHz ≤ Δf ≤ Δf_{max}	10.05 MHz ≤ f_offset < f_offset_{max}	-37 dBm (Note 10)	100 kHz

NOTE 1: For a BS supporting non-contiguous spectrum operation within any *operating band* the emission limits within sub-block gaps is calculated as a cumulative sum of contributions from adjacent sub blocks on each side of the sub block gap. Exception is Δf ≥ 10MHz from both adjacent sub blocks on each side of the sub-block gap, where the emission limits within sub-block gaps shall be -37dBm/100kHz.

NOTE 2: For a *multi-band connector* with Inter RF Bandwidth gap < 2*Δf_{OBUE} the emission limits within the Inter RF Bandwidth gaps is calculated as a cumulative sum of contributions from adjacent sub-blocks or RF Bandwidth on each side of the Inter RF Bandwidth gap

NOTE 3: The requirement is not applicable when Δf_{max} < 10 MHz.

Fuente: Especificación 3GPP TS 38.104

8. ANEXO 2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CONVIVENCIA

Tabla 18 Resumen de los resultados del estudio de convivencia en la banda de 26 GHz.

Caso	BW interferente	BW interferido	Banda de guarda	Distancia de protección
1ª: gNB-5G interfiriendo Micro ondas (BTS área amplia – 75dBm)	50 MHz	56 MHz	Co-Canal	22km
	100 MHz	56 MHz	Co-Canal	17km
	200 MHz	56 MHz	Co-Canal	14km
	50 MHz	56 MHz	Adyacencia	9.5km
	100 MHz	56 MHz	Adyacencia	7.0km
	200 MHz	56 MHz	Adyacencia	5.5km
	50 MHz	56 MHz	56 MHz	450m
	100 MHz	56 MHz	56 MHz	440m
	200 MHz	56 MHz	56 MHz	430 m
1ª: gNB-5G interfiriendo Micro ondas (BTS área amplia – 75dBm)	50 MHz	112 MHz	Co-Canal	20km
	100 MHz	112 MHz	Co-Canal	22km
	200 MHz	112 MHz	Co-Canal	15km
	50 MHz	112 MHz	Adyacencia	3.5km
	100 MHz	112 MHz	Adyacencia	2.3km
	200 MHz	112 MHz	Adyacencia	2.1km
	50 MHz	112 MHz	20 MHz	440m
	100 MHz	112 MHz	20 MHz	440m
	200 MHz	112 MHz	20 MHz	440m
1ª: gNB-5G interfiriendo Micro ondas (BTS área media – 43 dBm)	50 MHz	56 MHz	Co-Canal	730m
	100 MHz	56 MHz	Co-Canal	520m
	200 MHz	56 MHz	Co-Canal	475m
	50 MHz	56 MHz	Adyacencia	170m
	100 MHz	56 MHz	Adyacencia	125m
	200 MHz	56 MHz	Adyacencia	105m
	50 MHz	56 MHz	56 MHz	56m
	100 MHz	56 MHz	56 MHz	34m
	200 MHz	56 MHz	56 MHz	31m
1ª: gNB-5G interfiriendo Micro ondas (BTS área media – 43 dBm)	50 MHz	112 MHz	Co-Canal	670m
	100 MHz	112 MHz	Co-Canal	730m
	200 MHz	112 MHz	Co-Canal	475m
	50 MHz	112 MHz	Adyacencia	70m
	100 MHz	112 MHz	Adyacencia	46m
	200 MHz	112 MHz	Adyacencia	40m
	50 MHz	112 MHz	20 MHz	40m
	100 MHz	112 MHz	20 MHz	46m
	200 MHz	112 MHz	20 MHz	40m
1b. 5G UE (43dBm) interfiriendo Microondas	50 MHz	56 MHz	Co-Canal	165m
	100 MHz	56 MHz	Co-Canal	150m
	200 MHz	56 MHz	Co-Canal	130m
	50 MHz	56 MHz	Adyacencia	42m

Caso	BW interferente	BW interferido	Banda de guarda	Distancia de protección
	100 MHz	56 MHz	Adyacencia	37m
	200 MHz	56 MHz	Adyacencia	32m
	50 MHz	56 MHz	56 MHz	24m
	100 MHz	56 MHz	56 MHz	22m
	200 MHz	56 MHz	56 MHz	20m
1b. 5G UE (43dBm) interfiriendo Microondas	50 MHz	112 MHz	Co-Canal	166m
	100 MHz	112 MHz	Co-Canal	176m
	200 MHz	112 MHz	Co-Canal	152m
	50 MHz	112 MHz	Adyacencia	28m
	100 MHz	112 MHz	Adyacencia	24m
	200 MHz	112 MHz	Adyacencia	22m
	50 MHz	112 MHz	20 MHz	22m
	100 MHz	112 MHz	20 MHz	22m
	200 MHz	112 MHz	20 MHz	22m
1b. 5G UE FWA (55dBm) interfiriendo Microondas	50 MHz	56 MHz	Co-Canal	2.5km
	100 MHz	56 MHz	Co-Canal	2km
	200 MHz	56 MHz	Co-Canal	1.4km
	50 MHz	56 MHz	Adyacencia	380m
	100 MHz	56 MHz	Adyacencia	340m
	200 MHz	56 MHz	Adyacencia	290m
	50 MHz	56 MHz	56 MHz	155m
	100 MHz	56 MHz	56 MHz	125m
	200 MHz	56 MHz	56 MHz	105m
1b. 5G UE FWA (55dBm) interfiriendo Microondas	50 MHz	112 MHz	Co-Canal	2.5km
	100 MHz	112 MHz	Co-Canal	2.8km
	200 MHz	112 MHz	Co-Canal	2.0km
	50 MHz	112 MHz	Adyacencia	210m
	100 MHz	112 MHz	Adyacencia	155m
	200 MHz	112 MHz	Adyacencia	125m
	50 MHz	112 MHz	20 MHz	125m
	100 MHz	112 MHz	20 MHz	125m
	200 MHz	112 MHz	20 MHz	125m
2ª. Servicio fijo punto a punto interfiriendo gNB-5G	56 MHz	50 MHz	Co-Canal	40km
	56 MHz	100 MHz	Co-Canal	43km
	56 MHz	200 MHz	Co-Canal	43km
	56 MHz	50 MHz	Adyacencia	1.7km
	56 MHz	100 MHz	Adyacencia	1.8km
	56 MHz	200 MHz	Adyacencia	2.5km
	56 MHz	50 MHz	56 MHz	325m
	56 MHz	100 MHz	56 MHz	350m
	56 MHz	200 MHz	56 MHz	380m
2ª. Servicio fijo punto a punto	112 MHz	50 MHz	Co-Canal	28km
	112 MHz	100 MHz	Co-Canal	32km
	112 MHz	200 MHz	Co-Canal	40km

Caso	BW interferente	BW interferido	Banda de guarda	Distancia de protección
interfiriendo gNB-5G	112 MHz	50 MHz	Adyacencia	580m
	112 MHz	100 MHz	Adyacencia	820m
	112 MHz	200 MHz	Adyacencia	1170m
	112 MHz	50 MHz	20MHz	400m
	112 MHz	100 MHz	20MHz	440m
	112 MHz	200 MHz	20MHz	440m
2b. Servicio fijo punto a punto interfiriendo 5G-UE	56 MHz	50 MHz	Co-Canal	900m
	56 MHz	100 MHz	Co-Canal	790m
	56 MHz	200 MHz	Co-Canal	720m
	56 MHz	50 MHz	Adyacencia	200m
	56 MHz	100 MHz	Adyacencia	185m
	56 MHz	200 MHz	Adyacencia	185m
	56 MHz	50 MHz	56 MHz	56m
	56 MHz	100 MHz	56 MHz	49m
	56 MHz	200 MHz	56 MHz	47m
2b. Servicio fijo punto a punto interfiriendo 5G-UE	112 MHz	50 MHz	Co-Canal	755m
	112 MHz	100 MHz	Co-Canal	690m
	112 MHz	200 MHz	Co-Canal	660m
	112 MHz	50 MHz	Adyacencia	130m
	112 MHz	100 MHz	Adyacencia	130m
	112 MHz	200 MHz	Adyacencia	130m
	112 MHz	50 MHz	20MHz	70m
	112 MHz	100 MHz	20MHz	70m
	112 MHz	200 MHz	20MHz	65m
3ª. Transmisor satelital interfiriendo gNB-5G (27.5GHz – Peor caso, ambas antenas alineadas	50MHz	50MHz	Adyacencia	40km
3ª. Transmisor satelital interfiriendo gNB-5G (27.5GHz – 0 grados)	50/100MHz	50MHz	Adyacencia	7.5km
	50/100MHz	100MHz	Adyacencia	5.4km
	50/100MHz	200MHz	Adyacencia	3.8km
3ª. Transmisor satelital interfiriendo gNB-5G (27.5GHz – 15 grados)	50/100MHz	50MHz	Adyacencia	150m
	50/100MHz	100MHz	Adyacencia	115m
	50/100MHz	200MHz	Adyacencia	85m
	50/100MHz	50MHz	Adyacencia	62m

Caso	BW interferente	BW interferido	Banda de guarda	Distancia de protección
3ª. Transmisor satelital interfiriendo gNB-5G (27.5GHz – >48 grados)	50/100MHz	100MHz	Adyacencia	46m
	50/100MHz	200MHz	Adyacencia	34m

Fuente: Tabla extraída del documento de Parámetros Técnicos de Operación para los Sistemas 5G, los Sistemas Punto A Punto y los Sistemas Fijos Por Satélite en la Banda de 26 GHz que permitan la convivencia entre ellos

Tabla 19. Resultados simulaciones con punto a Punto de 14 MHz

Probabilidad de interferencia según criterios						
BS 5G	Enlace microondas		Interferencia (%)		Nivel de señal (dBm)	
BW (MHz)	Distancia (km)	Sensibilidad (dBm)	C/I	C/(N+I)	Útil	Interferente
50	3	-78	28,40	8,60	-20,77	-49,87
	3	-82	20,50	6,80	-20,77	-49,30
	7	-82	42,00	13,40	-28,13	-49,28
100	3	-78	40,10	12,50	-20,77	-46,99
	3	-82	26,00	10,00	-20,77	-46,27
	7	-82	59,00	19,60	-28,13	-46,12
200	3	-78	56,80	17,80	-20,77	-43,82
	3	-82	35,10	11,70	-20,77	-43,67
	7	-82	85,90	27,00	-28,13	-42,99

La anterior tabla muestra que no es viable la coexistencia cocanal de un enlace microondas junto con una estación base gNB-5G ya que se requieren márgenes de protección en distancia o banda de guarda muy amplios.

9. ANEXO 3 REVISIÓN INTERNACIONAL

Documento adjunto con la revisión internacional

10. ANEXO 4 CONVIVENCIA CON SERVICIO FIJO POR SATÉLITE (FSS)

Región 2 (América)

A continuación, se presentan dos casos relevantes en América: Brasil y Estados Unidos.

Estados Unidos

En la siguiente tabla se presenta el límite adicional de las emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE) incluido en la especificación técnicas 3GPP 38.104, y considerado para estaciones base en el mercado americano para la banda n48 (3550-3700 MHz):

Tabla 20 Límite adicional de las emisiones no deseadas de la banda de operación para estaciones base en el mercado estadounidense para la banda n48 (3550-3700 MHz)

Channel bandwidth	Frequency offset of measurement filter -3dB point, Δf	Frequency offset of measurement filter centre frequency, f_offset	Minimum requirement	*Measurement bandwidth* (Note)
All	0 MHz ≤ Δf < 10 MHz	0.5 MHz ≤ f_offset < 9.5 MHz	-13 dBm	1 MHz

NOTE: The resolution bandwidth of the measuring equipment should be equal to the *measurement bandwidth*. However, to improve measurement accuracy, sensitivity and efficiency, the resolution bandwidth may be smaller than the *measurement bandwidth*. When the resolution bandwidth is smaller than the *measurement bandwidth*, the result should be integrated over the *measurement bandwidth* in order to obtain the equivalent noise bandwidth of the *measurement bandwidth*.

Fuente: Tomado de 3GPP 38.104 – Sección 6.6.4.2.5 [45]

Adicionalmente, en el Reporte y Orden FCC 20-22 [72] de marzo de 2020 la FCC estableció que para la banda 3.7-4.0 GHz permitirá que las estaciones base en áreas no rurales operen a niveles de potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) de hasta 1640 W/MHz, y en áreas rurales operen con el doble de los límites de potencia anterior (3280 W/MHz).

Brasil

ANATEL estableció los requisitos técnicos y operativos para las condiciones de uso de la banda 3.300 - 3.700 MHz para estaciones base y terminales de usuario del servicio móvil por medio de la Act. No. 1477 [74] de 5 de marzo de 2021. En cuanto a la protección de estaciones terrenas del servicio satelital que operan en bandas superiores a 3.7 GHz, se definieron las máscaras de emisión fuera de la banda para estaciones base sin y con sistemas de antenas activas (AAS). En las siguientes tablas se relacionan los elementos definidos de la máscara de las emisiones no deseadas

de la banda de operación (OBUE) los cuales están basados en las especificaciones técnicas 3GPP TS 38.104 [45] en la Tabla 6.6.4.2.2.1-2 y en la Sección 9.7.4.2 para estaciones base sin y con AAS respectivamente.

Tabla 21. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base sin sistemas AAS en Brasil

Table IV – OBUE limits per base station port, nodal or repeater with non-integrated antenna.

Frequency range (f)	Maximum power level	Resolution range for measurement
3260 MHz ≤ f < 3290 MHz	-15 dBm	1 MHz
3290 MHz ≤ f < 3295 MHz	-14 dBm	100 kHz
3.295 MHz ≤ f < 3300 MHz	-7dBm-(7/5)*(f/MHz - 0.05) dB	100 kHz
3700 MHz < f ≤ 3705 MHz	-7dBm-(7/5)*(f/MHz - 0.05) dB	100 kHz
3.705 MHz < f ≤ 3.710 MHz	-14 dBm	100 kHz
3,710 MHz < f ≤ 3,720 MHz	-15 dBm	1 MHz
3,720 MHz < f ≤ 3,740 MHz	-40 dBm	1 MHz

Fuente: Tomado de ANATEL, Act. No. 1477 [74]

Tabla 22. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base con sistemas AAS en Brasil

Table V - OBUE TRP Limits of Base Station, Nodal or Repeater with Note 2 AAS Antenna

Frequency range (f)	Maximum power level	Resolution range for measurement
3260 MHz ≤ f < 3300 MHz	-6 dBm	1 MHz
3290 MHz ≤ f < 3295 MHz	-5 dBm	100 kHz
3.295 MHz ≤ f < 3300 MHz	2 dBm (7/5)*(f/MHz - 0.05) dB	100 kHz
3700 MHz < f ≤ 3705 MHz	2 dBm (7/5)*(f/MHz - 0.05) dB	100 kHz
3.705 MHz < f ≤ 3.710 MHz	-5 dBm	100 kHz
3,710 MHz < f ≤ 3,720 MHz	-6 dBm	1 MHz
3,720 MHz < f ≤ 3,740 MHz	-31 dBm	1 MHz

Note 2: If there is an AAS system that allows the performance of measurements conducted by transmission ports, the threshold value per port will be equal to the value TRP-10*log10(N transmission ports).

Fuente: Tomado de ANATEL, Act. No. 1477 [74]

Cabe notar que en Brasil no se definió ninguna banda de guarda para la protección de estaciones terrenas del servicio satelital que operan en bandas superiores a 3.7 GHz.

Región 1 (Europa)

La Decisión 2019/235 de la Comisión Europea [75], de 24 de enero de 2019, armonizó las condiciones técnicas para 5G en la banda de 3.4–3.8 GHz, la cual incorpora las recomendaciones del Reporte 067 del CEPT [76], incluyendo la protección de radares militares que operan por debajo de 3.4 GHz y de estaciones terrenas del servicio satelital que operan en bandas superiores a 3.8 GHz. Para la protección de este último servicio, en la Tabla 7 de la Decisión (EU) 2019/235 [75] están definidas las máscaras de emisión fuera de la banda para estaciones base sin y con sistemas de antenas activas (AAS). La siguiente tabla muestra los elementos definidos de las máscaras.

Tabla 23. Límites de emisiones no deseadas de la banda de operación de estaciones base sin y con sistemas AAS en Europa

BEM element	Frequency range	Non -AAS e.i.r.p. limit dBm/(5 MHz) per antenna	AAS TRP limit dBm/(5 MHz) per cell (1)
Additional baseline	3800-3805 MHz	Min(PMax−40, 21) (2)	Min(PMax'−40, 16) (3)
	3805-3810 MHz	Min(PMax−43, 15) (2)	Min(PMax'−43, 12) (3)
	3810-3840 MHz	Min(PMax−43, 13) (2)	Min(PMax'−43, 1) (3) (4)
	Above 3840 MHz	-2 (2)(5)	-14 (5)

(1) In a multi-sector base station, the radiated power limit apples to each one of the individual sectors.
(2) PMax is the maximum mean carrier power in dBm for the base station measured as e.i.r.p. per carrier, interpreted as per antenna
(3) PMax' is the maximum mean carrier power in dBm for the base station measured as TRP per carrier in a given cell
(4) Additional limits may apply on a case by case basis at national level
(5) derived from 3GPP TS 38.104 [25]

Fuente: Tomado del reporte 281 de la ECC – Tabla 18 [77]

Al mismo tiempo, para las estaciones base del servicio móvil, se concluyó que un valor límite para la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) entre 3.4-3.8 GHz no es obligatorio, luego no es necesario incluir un límite en el marco regulatorio para sistemas con y sin AAS. No obstante, los países miembros de la Unión Europea pueden incluir un límite en su autorización o utilizar un límite para fines de coordinación de redes [77].

Adicionalmente, en cuanto a la protección del servicio FSS, puesto que las características de diferentes tipos de estaciones terrenas del servicio FSS varían considerablemente, por ejemplo, anchos de banda, diámetro y ganancia de la antena, altura de la antena, ángulo de elevación, entre otros, y también el terreno que las rodea, no existe una sola distancia de separación, banda de guarda o límite en la potencia de transmisión de las estaciones base para garantizar la convivencia con las redes móviles 5G. Por esta razón, la Decisión ECC (11)06 [78] del 2018, establece que la coordinación entre redes móviles 5G y el servicio FSS (y también el servicio fijo (FS) o de radiolocalización) debe realizarse basada en la revisión de caso

por caso de las estaciones terrenas que pueden llegar a presentar interferencia. La CEPT ha proporcionado un conjunto de guías técnicas para que los países miembros consideren la convivencia con el servicio FS y el servicio FSS en el Reporte 254 de la ECC [79] (este reporte no considera estaciones base con sistemas AAS).

Francia

Para determinar criterios de protección del servicio FSS operando por encima de 3.8 GHz, a solicitud de la *Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse* (ARCEP), la Agencia Nacional de Frecuencias Francesa (ANFR) realizó estudios preliminares de impacto sobre la protección de estaciones terrenas que operan por encima de 3800 MHz frente a estaciones base 5G con sistemas de antenas activas (AAS) que serán autorizadas por la ARCEP en la banda 3490-3800 MHz. Estos estudios fueron recopilados en el informe de la ANFR, *Rapport CCE protection SFS vs IMT 5G à 3,8GHz du 20/09/2019* [80] el cual indica que los operadores deben comprometerse a respetar los límites de potencia establecidos basados en el informe.

En este informe, teniendo en cuenta la máscara de emisión fuera de banda establecida en la Decisión (EU) 2019/235 [75] de las estaciones base con AAS que funcionan en la banda 3.4-3.8 GHz, son considerados dos tipos de protección de estaciones terrenas del servicio FSS:

1. Protección genérica para todas las estaciones terrenas que operan en frecuencias por encima de 3840 MHz
2. Protección de estaciones terrenas operando por debajo de 3840 MHz teniendo en cuenta las características específicas de cada una de estas (revisión caso por caso)

En la siguiente tabla se presenta la lista de las estaciones terrenas a proteger en el territorio nacional (en azul las estaciones terrenas que operan por debajo de 3840 MHz).

Tabla 24. Lista de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite a proteger en el territorio nacional Frances

	Commune du site	Fréquence la plus basse utilisée	Longitude (°)	Latitude (°)
1	La Ciotat	<3840 MHz	5,59945	43,2013889
2	Marseille (Carmagnole)	>3840 MHz	5,38666667	43,2688889
3	Asvaus	>3840 MHz	1,4966666	43,428055
4	Fréjus	<3840 MHz	6,731945	43,465
5	Aix-en-Provence	>3840 MHz	5,4511111	43,5369444
6	Toulouse 1	>3840 MHz	1,48361	43,5586111
7	Toulouse 2	>3840 MHz	1,4975	43,558888
8	Toulouse 3	>3840 MHz	1,37	43,57611
9	Bercenay	<3840 MHz	3,8861111	48,2211111
10	Rambouillet	<3840 MHz	1,7825	48,5494444
11	Sainte Assise	>3840 MHz	2,55972222	48,550833
12	Strasbourg	>3840 MHz	7,7813888	48,5877778
14	Lannion	>3840 MHz	-3,4725	48,7508333
15	Lognes	<3840 MHz	2,6425	48,8380556
16	Paris	>3840 MHz	2.360265930	48.765556260
17	Les Alluets	>3840 MHz	1,9305555	48,9063889

Fuente: Tomado del *Rapport CCE protection SFS vs IMT 5G à 3,8GHz* de la ANFR [80]

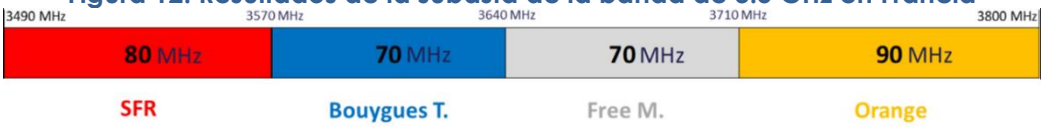
En el informe, las hipótesis para definir los criterios de protección (niveles EIRP) son las siguientes:

1. Protección genérica: los niveles de EIRP emitidos en la banda 3840-4200 MHz por cada estación base en la banda 3490-3800 MHz no deben exceder, en cada estación terrena a proteger, a una altura de 10m, y en condiciones medias de propagación (es decir, durante el 50% del tiempo), un límite definido de acuerdo con el acimut de la estación base vista desde el la estación terrena a proteger. Estos niveles están destinados a proteger cualquier enlace en la banda 3840-4200 MHz que apunte a una órbita geoestacionaria (GSO) con un ángulo de elevación mínimo de 7°.
2. Protección de estaciones terrenas operando por debajo de 3840 MHz (basada en la revisión de caso por caso): los niveles de EIRP emitidos en la banda 3800-3840 MHz por cada estación base en la banda 3490-3800 MHz no deben exceder, en cada estación terrena a proteger, a una altura de 10m, y en condiciones medias de propagación (es decir, durante el 50% del tiempo), un límite definido de acuerdo con el acimut de la estación base vista desde el sitio a proteger. Estos niveles tienen como objetivo proteger las estaciones terrenas existentes en la banda 3800-3840 MHz.

Para más información sobre los criterios de protección (niveles EIRP) para cada caso revisar el informe [80].

En la siguiente figura se presenta el resultado del espectro adjudicado:

Figura 12. Resultados de la subasta de la banda de 3.5 GHz en Francia



Bidder	Bouygues Telecom	Free Mobile	Orange	SFR	Total
Frequencies	3570 – 3640 MHz	3640 – 3710 MHz	3710 – 3800 MHz	3490 – 3570 MHz	-
Amount of spectrum	70 MHz	70 MHz	90 MHz	80 MHz	310 MHz

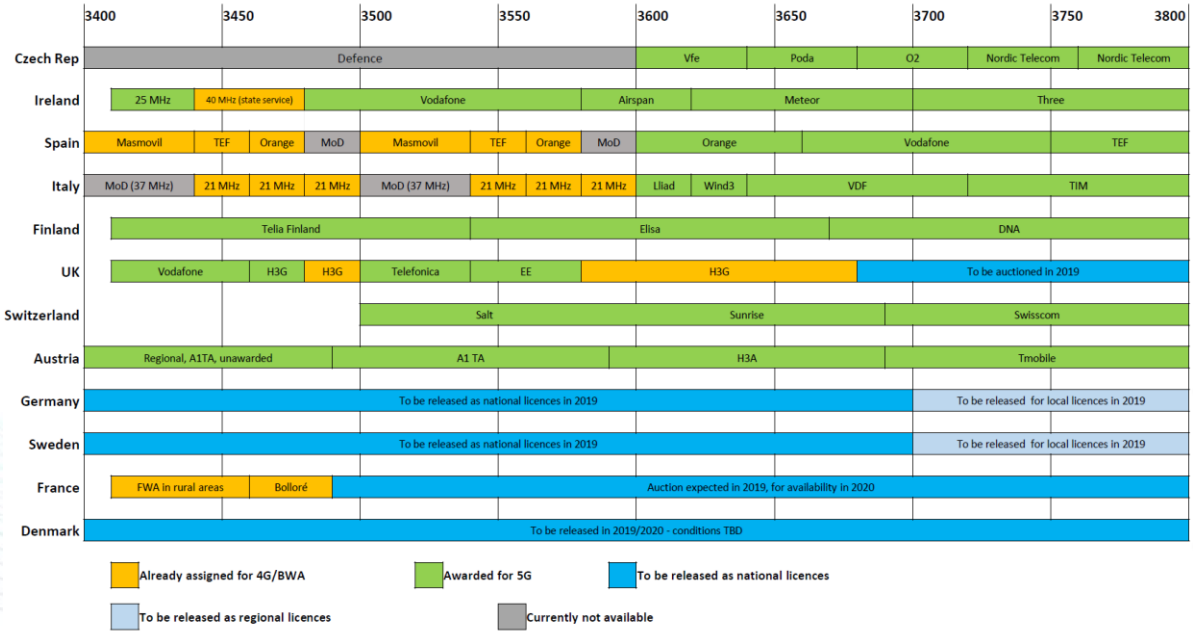
Fuente: Tomado de *Operator Watch* [81]

Se puede evidenciar que el operador Orange obtuvo 90 MHz entre 3710 MHz y 3800 MHz. Similarmente a otros países, no se definió ninguna banda de guarda para la protección de estaciones terrenas del servicio satelital que operan en bandas superiores a 3.8 GHz.

Resumen Europa

A continuación, se presenta un resumen del espectro asignado a varios operadores en los países europeos:

Figura 13. Resultados de la subasta de la banda de 3.5 GHz en diferentes países de la unión europea



Fuente: Tomado de GSA – *Views on 5G Spectrum Awards in 3400-3800 MHz in Europe* [82]

Varios países como Republica Checa, Irlanda, España, Italia, Suiza, Austria, Francia, entre otros, han adjudicado bloques de frecuencia hasta la parte superior de la banda (3.8 GHz). Estos países siguen las recomendaciones proporcionadas en la Decisión (11)06 de la ECC [78] para garantizar la coordinación y convivencia del servicio móvil en el bloque superior de la banda de 3.5 GHz y el servicio FSS operando en la banda adyacente superior sin definir una banda de guarda para no desperdiciar el espectro disponible.

Por otra parte, países como Alemania y Suecia adjudicaron el bloque superior de la banda, pero solo bajo licencias locales.

11. ANEXO 5 ASPECTOS DE SINCRONIZACIÓN DE REDES MÓVILES 5G

Sincronización de redes TDD 5G

La gestión de la interferencia entre redes 5G usando el modo de operación TDD, haciendo énfasis en su sincronización, es de suma importancia para apoyar el correcto funcionamiento de estas redes en entornos exteriores. Por ejemplo, si dos estaciones base tipo Macro no se encuentran correctamente sincronizadas, la distancia de separación para evitar interferencia entre estas puede ser hasta de 60 km si las estaciones base operan en la misma banda de frecuencia y hasta de 14 km si operan en bandas adyacentes como se indica en el Anexo 5 del reporte 296 de la ECC [83]. Consecuentemente, si no se garantiza la correcta sincronización de redes 5G, el despliegue de estas es sub-óptimo desaprovechando su cobertura y capacidades mejoradas.

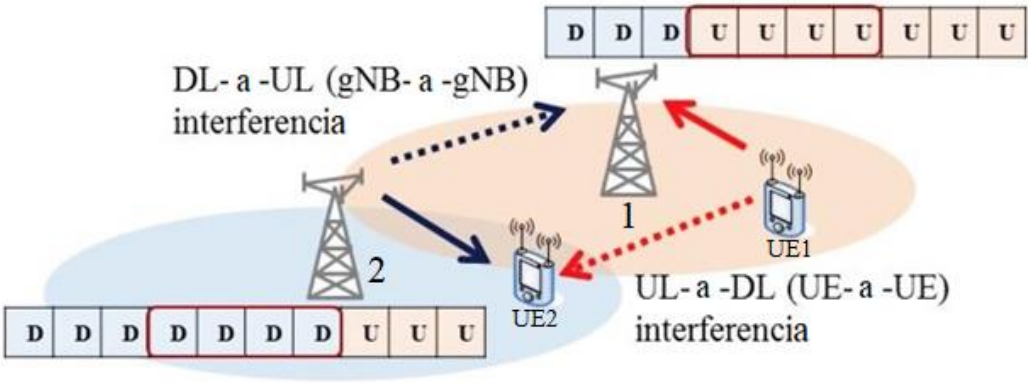
Sincronización de redes regionales o nacionales en la misma área geográfica

Los principales escenarios de interferencia en las redes TDD operando en las mismas bandas de frecuencia o en bandas adyacentes son la interferencia entre estaciones base y la interferencia entre los dispositivos móviles de los usuarios. Ambos casos pueden ocurrir si las estaciones base no están correctamente sincronizadas con la misma fuente de reloj o si cada estación base usa diferentes estructuras de la trama TDD (diferentes relaciones DL/UL en las tramas). La Figura 14 presenta ambos casos de interferencia cuando las estaciones base no están sincronizadas.

- En el caso de interferencia DL-a-UL, la transmisión de la celda 2 al UE2 se superpone con la recepción de la celda 1 proveniente del UE1. Si los dos estaciones base están lo suficientemente cerca, el nivel de interferencia puede ser tan alto que el enlace UL de la celda 1 puede quedar completamente bloqueado por la transmisión simultánea de la celda 2.
- En el caso de interferencia UL-a-DL, la transmisión desde el UE1 interfiere con la recepción del UE2 y si los dispositivos móviles están lo suficientemente cerca, la recepción del UE2 puede ser bloqueada por la transmisión proveniente del UE1. Se debe tener en cuenta que la interferencia entre dispositivos móviles depende en gran medida de sus ubicaciones y de los niveles de potencia de transmisión. Por otra parte, la interferencia entre estaciones base es más problemática puesto que existe mucho más tráfico proveniente de estas, sus antenas ubicadas en posiciones elevadas incrementan la probabilidad de línea de vista, y su potencia de transmisión es alta.

-

Figura 14. Casos de interferencia cuando las estaciones base no están sincronizadas



Fuente: Tomado de [84]

La sincronización entre redes móviles TDD en entornos exteriores se logra por medio de parámetros que aseguran que las estaciones base 5G pertenecientes a la red propia y a redes vecinas envíen y reciban datos hacia y desde dispositivos móviles al mismo tiempo para evitar interferencias. Generalmente, esta sincronización se logra usando el servicio global de navegación por satélite (GNSS) con el cual se garantiza la misma referencia de reloj común para todas las estaciones base incluso si se encuentran separadas por distancias considerables [85]. Adicionalmente a la referencia común de reloj, los diferentes operadores móviles deben acordar el uso de las mismas estructuras de la trama TDD. En resumen, los parámetros que deben ser acordados son:

- Referencia de reloj común
- Estructura de la trama TDD
- Referencia de tiempo (por ejemplo, el comienzo del primer intervalo de tiempo (*slot*) de la estructura de la trama TDD [86])
- Formatos de los intervalos de tiempo (*slots*) en la trama TDD [87]

Cabe notar que los límites sobre las emisiones no deseadas de la banda de operación (OBUE) en las especificaciones técnicas 3GPP 38.104 aplican para estaciones base TDD 5G que están en la misma área geográfica y están sincronizadas. Las especificaciones en 3GPP 38.104 [45] no aplican para estaciones base no sincronizadas y limites adicionales para las emisiones no deseadas pueden ser necesarios.

Sincronización de redes locales en la misma área geográfica

Para redes locales (por ejemplo, industrias verticales y áreas para agricultura), las bandas de frecuencia asignadas a estas redes deben usarse de tal manera que la cobertura en sus áreas asignadas sea suficiente para su operación sin causar interferencia significativa a redes locales adyacentes. Se recomienda a los operadores locales que se encuentran en áreas aledañas y/o bandas adyacentes mantener conversaciones para acordar medidas de coordinación con el objetivo de evitar interferencia mutua. Esto contribuye a mejorar la eficiencia del uso del espectro y la cobertura de las áreas asignadas a cada operador. Si no es posible garantizar la compatibilidad entre diferentes operadores locales, el MinTIC puede intervenir y establecer condiciones técnicas para mitigar posibles interferencias [88]. En el caso de entornos interiores (por ejemplo, redes privadas) los requisitos de sincronización son menos exigentes por la menor probabilidad de interferencia debido a las mayores pérdidas de propagación debido a edificios, paredes y otros obstáculos.

Sincronización de redes en zonas fronterizas

Cuando las redes en ambos lados de las fronteras tienen una referencia de reloj común, la supresión de símbolos en DL (*Downlink symbol blanking*) es un esquema que puede ser implementado en redes 5G que permite a los controladores (*schedulers*) de las estaciones base 5G desactivar la transmisión de símbolos DL (D) que ocurren en los mismos instantes de símbolos UL (U) o de símbolos con el periodo de guarda (G) de otras redes fronterizas para evitar interferencia por falta de sincronización. Esto permite el uso de estructuras de tramas TDD diferentes en ambos lados de fronteras a costa de cierta reducción de la capacidad del enlace DL y de la cobertura. Es de aclarar que la supresión de símbolos en DL no requiere estandarización por parte de 3GPP [62], [69].

Si se siguen las recomendaciones en la recomendación (15)01 de la ECC [62], es decir si se utilizan dos estructuras de tramas presentadas en el Anexo 1, el impacto de la supresión de símbolos en DL es una reducción de la capacidad del enlace DL del 17,3%.