



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**VALOR AGREGADO QUE APORTAN LOS BENEFICIOS TECNOLÓGICOS DE
UNA RED 5G Y CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIONES QUE PUDIERAN SER
IMPLEMENTADAS POR WOM S.A. EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

IGNACIO LEANDRO LÓPEZ LEPIQUE

**PROFESOR GUÍA:
PATRICIO EDUARDO VALENZUELA CANO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS EDUARDO CABA RUTTE
NAZRE EL HUREIMI FACUSE**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

Resumen

En este trabajo se recopiló información sobre el estado del arte actual de la red 5G y sus implementaciones a nivel de Chile, Latinoamérica y el mundo, en donde se analizaron posibles productos o servicios que pudieran ser implementados por un proveedor de servicios de internet y telefonía móvil en el país.

Para esto, en primera instancia se realizó una vista general sobre el funcionamiento de las generaciones de redes móviles anteriores, para luego analizar la actual red 5G, sus propiedades, espectro asignado y por licitar, e investigar sobre las aplicaciones ya existentes que se están implementando con esta nueva tecnología, detallando los posibles servicios que pudieran ser implementados en Chile en esta primera fase de implementación NSA considerando la experiencia de la actual red piloto 5G desplegada por la compañía WOM, sujeto a que estos cumplan con las condiciones técnicas dispuestas por la red y las nuevas regulaciones que se están actualizando día a día.

Se plantea que esta red experimental 5G que se encuentra desplegada en el centro de Santiago será el punto de partida de una futura red comercial implementada en todo Chile, considerando las actuales regulaciones y licitaciones por parte de Subtel para la asignación de los recursos de bandas necesario para ello.

Es por esto que en este trabajo se evaluó en forma cualitativa la opción de dar acceso a internet hogar, utilizando la tecnología “Fixed Wireless Access” (FWA) para llevar a través del 5G internet de gran velocidad y baja latencia a los domicilios, de forma inalámbrica y cumpliendo con un óptimo desempeño para entrar a competir con otras soluciones alternativas como lo es la fibra óptica al hogar FTTH.

A su vez, se llevó a cabo un estudio referente al impacto que podría tener la industria de los videojuegos tipo streaming en este nuevo despliegue 5G, visto como una estrategia para que nuevos clientes se sumen a esta tecnología a través de alianzas con grandes empresas que están creciendo en los mercados norteamericanos, asiáticos y europeos, y que pudieran implementar sus productos y servicios en Chile.

Finalmente, se analizaron diversas aplicaciones e implementaciones tanto a nivel comercial como industrial, con el fin de poner en contexto las posibles opciones que pudieran implementarse por el proveedor de servicios de internet con 5G, para así tener un mayor impacto en los consumidores y ofrecer un servicio con un valor agregado más potente que la competencia, instaurando esta como una tecnología dominante por los próximos años.

Agradecimientos

Después de 9 años, por fin se logra cerrar un ciclo que por mucho tiempo me acompañó día y noche. Cada traspaso valió la pena, y aunque no fue fácil, siempre lo que cuesta tiene su recompensa.

Quisiera agradecer a todas las personas que hicieron posible culminar este proceso, y de las cuales no podría prescindir para haber llegado donde estoy:

En primer lugar, a mis padres, quienes desde pequeños me han inculcado a ser responsable y terminar lo que comienzo. Esos mismos que día a día siguen a mi lado y en todo este proceso han estado muy pendientes de mis avances y me han convertido en lo que soy ahora. A mi padre, por ser el hombre más inteligente que conozco y que seguramente llegaré a conocer, por transmitirme día a día su sabiduría y su forma tan clara y serena de ver la vida, y a mi madre, por ser la persona más preocupada por los demás que ha existido, siempre dispuesta a entregarlo todo con tal del bienestar de otros, y con esa esencia única combinada con ese toque de locura que la convierte en la madre más maravillosa que ha pisado este mundo. Hoy no sería nada sin ustedes, los amo con todo el corazón.

Agradecer a mi hermano Andrew, ese mellizo que todos desearían de hermano, pero que solo yo tendré el agrado de tener. Un verdadero ejemplo de inteligencia, perseverancia y quien me ha demostrado que las cosas si se quieren, se pueden. Eres y serás siempre mi mejor amigo, el mejor hermano, y no sabes lo feliz y orgulloso que estoy de ti, mi bro. No estaría aquí sin tu apoyo y tus consejos.

También darle las gracias a mi pareja, quien ha estado conmigo cada noche durante estos últimos años dándome ánimos, empujándome a avanzar con cada loca idea que ha venido a mi mente, admirándome como nadie más y motivándome a trabajar como nunca para no decepcionar esa bella imagen que tiene de mí. Agradezco infinitamente tu eterna compañía.

Quisiera agradecer a toda mi familia, a mi talentosa hermana, quien me ha enseñado que no importa que tus planes y sueños no sean los que otros desean, debes de igual forma armarte de valor e ir por ellos hasta alcanzarlos. Agradecer a mis tíos, primos y primas, a mi abuelo, que en paz descansa, y a mis abuelas por cada una de las enseñanzas que me han transmitido en la vida y que me han permitido avanzar.

Deseo darle las gracias a mis profesores durante toda la carrera, quienes me han llevado a formarme en quien soy actualmente. Al profesor Alfredo Schnell, que en paz descansa, por siempre escuchar atentamente y con una sonrisa a sus alumnos. Agradecer a los miembros de la comisión examinadora, quienes fueron elegidos por haber quedado en mí a través de sus enseñanzas, cada uno brillante en su área, y en particular, agradecer a mi profesor guía Patricio Valenzuela, quien ha tenido una paciencia y disposición infinita conmigo, de esas

que no cualquier profesor me hubiera entregado. Si estoy aquí, es en gran parte por usted, y se lo agradezco mucho.

Agradecer enormemente a mis amigos del nacional, esas amistades que se forjan en el colegio pero que uno sabe durarán toda la vida. Siempre han sido una motivación para sacar mi título, ya que se me adelantaron, y a no quedarme atrás y llegar a ser tan brillante como ustedes lo son, únicos en su tipo. Espero conservarlos hasta el fin de los tiempos.

Darle las gracias a cada una de esas personas que desde el primer día en la universidad han formado parte de mi día a día, y muchos de los cuales se convirtieron de simples conocidos de pasillo o de entrenamiento en grandes amistades que llevaré conmigo siempre.

También agradecer a mi gran amigo Diego Ibieta, el mejor partner, socio, compadre, mi cable a tierra y a la vez un motor de ideas para cambiar el mundo, con un hambre de éxito tan grande como la mía, y con quien estoy feliz de emprender en cada negocio que nos lleve la vida. Eres un grande amigo, y si he llegado donde estoy, te lo debo en gran parte a tu apoyo y compañía.

De corazón, les doy las gracias a cada una de las personas que he mencionado en estos pocos párrafos, y a todas las que se me han pasado, pero que estoy seguro saben que son parte de todo este proceso y a quienes les debo el estar aquí. Sin ustedes, no habría podido lograr todo lo que he logrado en estos años, y les estaré eternamente agradecido.

Finalmente, te doy las gracias a ti, hija mía, por ser la luz de mis ojos, de mi vida, por ser el motor que hace ya 9 años vino a mover mi mundo e impulsarlo con tal fuerza que ya no puedo hacer otra cosa que seguir y avanzar con paso firme hasta cumplir cada uno de tus sueños y los míos. Por permitirme ser el padre que soy actualmente, deseando ser siempre tu mejor ejemplo a seguir durante cada día de tu vida. Que sepas que si hoy estoy donde estoy, y todo lo lejos que llegaré, fue, es y será siempre gracias a ti, Macarena. No podría yo estar más orgulloso de ti, ¡te amo!

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Previas, actuales y futuras generaciones de telefonía móvil	3
2.1. Primera Generación (1G)	3
2.2. Segunda Generación (2G)	3
2.3. Tercera Generación (3G)	4
2.4. Cuarta Generación (4G)	4
2.5. Quinta Generación (5G)	7
2.5.1. Release 15, 5G NSA.....	7
2.5.2. Release 16, 5G SA	12
3. Propiedades del 5G	14
3.1. Ultra alta velocidad	15
3.2. Ultra baja latencia	15
3.3. Baja potencia	15
3.4. Segmentación de la red	15
3.5. Múltiples conexiones de dispositivos a la red	16
3.6. Alta confianza	16
4. Problema de bandas para 5G en el mundo	17
4.1. Baja frecuencia	17
4.2. Frecuencia media	17
4.3. Alta frecuencia	17
5. Nuevas tecnologías utilizadas por la quinta generación	20
5.1. Ondas milimétricas	20
5.2. Celdas pequeñas	22
5.3. MIMO masivo	22
5.4. Conformación de haces (Beamforming)	23
5.5. Full Dúplex	24
5.6. NOMA	24
5.7. MEC	25
5.8. Dynamic Spectrum Sharing (DSS)	26
6. Actuales redes 5G implementadas en el mundo	27
6.1. Red 5G en Corea del Sur	28
6.2. Red 5G en Estados Unidos	28
6.3. Red 5G en Suiza	30
6.4. Red 5G en China	31
6.5. Red 5G en Reino Unido	32
6.6. Red 5G en España	33

6.7. Red 5G en Uruguay	34
6.8. Red 5G en Japón	35
6.9. Red 5G en el mundo 2020	35
7. Red 5G en Chile	36
7.1. Pruebas 5G realizadas en Chile	39
7.1.1. Prueba 1: Demostración récord en Universidad de Chile	40
7.1.2. Prueba 2: Ecografía a distancia por Entel	40
7.1.3. Prueba 3: Control brazo robótico	41
7.1.4. Prueba 4: Paradero de buses por WOM	41
7.2. Antenas 5G utilizadas	44
7.3. Laboratorio 5G de Corfo	46
8. Casos de uso comercial e industrial del 5G	46
8.1. 5G en la minería	48
8.2. Verizon Ultra Wideband	49
8.3. Smart Village en Corea del Sur	51
8.4. Foro Europeo Let's 5G	52
8.5. Hatch, videojuegos en la nube	54
8.6. MelodyVR	55
8.7. Hogar conectado sobre IP	56
9. Implementación propuesta para una primera fase 5G en Chile	58
9.1. Fixed Wireless Access (FWA) en el hogar	58
9.2. Servicio de cloud gaming en Chile	59
9.3. Telemedicina y Covid19	62
10. Conclusiones	63
11. Trabajos futuros	64
12. Bibliografía	66
Anexo A: límite máximo de ancho de banda en Chile	71

Índice de Tablas

Tabla 1: Número de PRB relativo para cada ancho de banda	6
Tabla 2: Número de bits por símbolo por diferentes modulaciones	6
Tabla 3: Número de Slot por frame dependiendo del ancho de banda.....	10
Tabla 4: Número de PRB con respecto a frecuencia de subportadora y ancho de banda	11
Tabla 5: Recursos asignados por la Subtel para las 4 licitaciones de bandas 5G	37

Índice de ilustraciones

Figura 1: Teléfono 1G	3
Figura 2: Teléfono 2G	3
Figura 3: Teléfono 3G	4
Figura 4: Teléfono 4G	4
Figura 5: Arquitectura red 4G	5
Figura 6: PRB para tecnología 4G LTE	6
Figura 7: Teléfono Mate X, compatible con 5G	7
Figura 8: Arquitectura 5G NSA	8
Figura 9: Plano de control y usuario en 5G NSA	9
Figura 10: Aumento de banda ancha dependiendo de la frecuencia	10
Figura 11: Arquitectura 5G SA	12
Figura 12: Plano de control y usuario en 5G SA	13
Figura 13: Recomendaciones de 5G Americas para espectro red 5G	18
Figura 14: Espectro seleccionado en bandas S y C para despliegue 5G en estos países	19
Figura 15: Espectro seleccionado en ondas milimétricas para despliegue 5G en estos países	19
Figura 16: Espectro Radioeléctrico	21
Figura 17: Múltiple acceso ortogonal (OMA) vs Múltiple acceso no-ortogonal (NOMA)	25
Figura 18: Juegos de video de RA utilizando MEC	26
Figura 19: Mapa actualizado a enero 2020 de red 5G desplegada y por desplegar	27
Figura 20: Publicidad 5G Corea del Sur	28
Figura 21: Publicidad Verizon 5G	28
Figura 22: Mapa de cobertura 5G Sprint	29
Figura 23: Mapa de cobertura red Nueva T-Mobile	29
Figura 24: Publicidad Swisscom	30
Figura 25: Publicidad Sunrise	30

Figura 26: Publicidad de China 5G	31
Figura 27: Publicidad de O2 de 5G	32
Figura 28: Servicio 5GEE Home	33
Figura 29: Publicidad Vodafone de 5G	33
Figura 30: Publicidad Antel de 5G	34
Figura 31: Espectro enajenado y posibles nuevos adjudicadores de este	37
Figura 32: Porcentaje de espectro asignado por banda a cada empresa de telefonía	38
Figura 33: Experimento 5G realizado en la FCFM	40
Figura 34: Ecografía a distancia utilizando tecnología 5G	41
Figura 35: Prueba 5G con brazo robótico	41
Figura 36: Paradero de bus con antenas 5G	42
Figura 37: Arquitectura inicial de WOM para implementar 5G NSA	43
Figura 38: Soporte de Bandas proporcionado en Chile	44
Figura 39: Imagen antena AAU5613 de Huawei	44
Figura 40: Arquitectura de comunicación de antenas en red NSA	45
Figura 41: Antena 5G y RAN 4G montados en las instalaciones de WOM	46
Figura 42: Ideas sector minero por SIMS	49
Figura 43: Modem 5G de Verizon	50
Figura 44: Villa inteligente Deasong-dong	51
Figura 45: Demostración baile sincronizado 5G	53
Figura 46: Demostración tour en vivo de Altran	53
Figura 47: Aplicación “Hatch” de videojuegos en la nube	54
Figura 48: Aplicación VR “Melody” de música inmersa	55
Figura 49: Smart House 5G	56
Figura 50: Servicio gratuito y de pago ofrecido por Hatch	60
Figura 51: Servicio gratuito y de pago ofrecido por Google Stadia	61
Figura 52: Evolución de los servicios dada la mejora en las capacidades técnicas	65

1. Introducción

La red 5G ha llegado para cambiarlo todo. A diferencia del salto de 3G a 4G, en donde básicamente se mejoraba la velocidad y conectividad, la nueva red 5G más que una evolución tecnológica, viene a ser una revolución, que no solo mejora la velocidad, disminuye la latencia, tiene una potencia más eficiente, un espectro ajustable para cada uso y una mayor cobertura, sino que introducirá una nueva forma de vivir y un paso gigante para el mundo del futuro.

Es así como gracias a esta nueva tecnología, el concepto de Smart Cities e IoT se volverá nuestra realidad diaria, debido a esta hiper conectividad y alta velocidad brindada por la quinta generación, pero... ¿realmente estamos preparados para esto?

Se debe entender que esta revolución implicará una inversión como nunca se ha visto en telefonía, necesitando aumentar considerablemente la infraestructura y las antenas necesarias para lograr esta gran eficiencia, junto a una serie de nuevas tecnologías, tanto en Hardware como en Software, que permitirá esta gran interconexión, pero ¿realmente se necesita el 5G en las vidas de todos? ¿Se justifica esta gran inversión por parte de los proveedores de servicios de internet con las nuevas soluciones que esto aportará a los usuarios? ¿Existe realmente los problemas concretos a los que 5G viene a dar solución? y de ser así, ¿Cuáles serían estas nuevas soluciones y aplicaciones a las que ahora podremos acceder? Estas son algunas de las preguntas en la que se esconden grandes oportunidades, las que motivan a la elaboración de este trabajo de título.

Por tanto, en este trabajo se busca hacer un gran estado del arte de lo que es el 5G en la actualidad, de cómo las empresas y los países están adoptando esta tecnología en esta primera fase y viendo cómo emplearlo para estar a la vanguardia con respecto a la competencia, ya sea a nivel de naciones o de empresas del mismo rubro, y ser capaces de llevar esta investigación e información desde una mirada técnica a servir como una guía para brindar futuros servicios 5G en la región por parte de algún proveedor de servicios.

Por otro lado, este trabajo de título se justifica por la actual red experimental 5G montada por la empresa WOM S.A. en la región metropolitana, la cual pese a contar con pocos nodos, ya se encuentra operativa en algunos paraderos de buses en el centro de la capital. Sin embargo, se ha hecho ver que esta empresa, como otras empresas también, se han preocupado por estar a la vanguardia y montar prontamente la tecnología, sumándose a un problema mundial que se hace ver en diversos reportes, que apunta a la falta de una clara justificación de la implementación de esta y una mejor forma de sacarle el máximo provecho a la red. Es por ello que con este trabajo se busca aportar con la solución a esta problemática, siendo de utilidad para presente y futuros proveedores de servicios de internet y telefonía para la implementación de la red, pensada en ciertas aplicaciones a las que se les pueda sacar un máximo potencial con esta nueva tecnología.

Finalmente, el objetivo de este trabajo es cómo, a partir del piloto 5G NSA que posee actualmente el proveedor de servicio de internet WOM S.A., se puede proyectar el desarrollo de 5G en Chile, mediante nuevos productos, aplicaciones o servicios que se hayan implementado en otras partes del mundo y que permitan utilizar esta red de mejor forma que solo aumentando la velocidad, principalmente mirándola por el lado de la baja latencia, alta conectividad y especificaciones técnicas, limitándose al despliegue de la primera fase de 5G, para así descubrir cómo esto puede ser una solución tecnológica a diversos problemas tanto a usuarios finales, como también para empresas. Concretamente, los objetivos a alcanzar son los siguientes:

- 1) Analizar las características, propiedades y nuevas tecnologías utilizadas por la tecnología 5G en sus 2 fases a implementar, NSA y SA, para entender qué hace a esta nueva generación mejor que las anteriores.
- 2) Identificación del estado del arte del desarrollo de las redes 5G en Chile, Latinoamérica y a nivel mundial, tanto a nivel de despliegue como de funcionamiento.
- 3) Rescatar las aplicaciones más relevantes que actualmente se encuentren utilizando redes 5G en el mundo con el fin de analizar su posible implementación en el país.
- 4) Análisis de la actual red 5G desplegada por WOM S.A., tanto en su funcionamiento como en el tipo de antenas empleadas, la banda utilizada, y las especificaciones técnicas requeridas para su uso.
- 5) Exponer el contexto actual de Chile en temas de regulaciones de espectro y límites máximos de ancho de banda permitido por operador de telefonía móvil, junto con las medidas a tomar por parte de la Subtel para solucionar estos problemas y las futuras licitaciones de las bandas contempladas para el despliegue de la red.
- 6) Entregar una propuesta con las aplicaciones e implementaciones que más beneficio pudieran entregar a la empresa WOM al ser implementadas utilizando la red 5G y aprovechando al máximo el potencial de esta en Chile.

2. Previas, actuales y futuras generaciones de telefonía móvil

Según la R.A.E, se denomina “generación” a “cada una de las fases de una técnica en evolución, en que se aportan avances e innovaciones respecto a la fase anterior”, en lo que a tecnología se refiere.

Es así como, al referirse a las generaciones en telefonía, básicamente se habla de los saltos e innovaciones que estas han tenido y que han ido de la mano a la evolución de la humanidad, pasando de lo que sería la telefonía analógica, a la telefonía digital y posteriormente el internet móvil. A modo de resumen, estos son los hitos que marca cada una de las tecnologías:

2.1. Primera Generación (1G): Esta generación es la telefonía analógica, implementada en la década de los 80, y que ofrecía solo servicios de voz sobre conmutación de circuitos. Al utilizar FDMA por frecuencia, era muy limitada la cantidad de usuarios que podían estar conectados al mismo tiempo en la red, y tampoco implementaba protocolos de seguridad. [1].



Figura 1: Teléfono 1G

2.2. Segunda Generación (2G): En esta siguiente generación, en la década de los 90, se hace la transición de telefonía analógica a digital, pudiendo incorporarse el servicio característico de esta generación que es el mensaje de texto SMS. Por otro lado, se cambia la multiplexación a TDMA por tiempo [1], mejorando el número de conexiones de usuarios en simultáneo y permitiendo reducir enormemente el tamaño de los teléfonos celulares. Se alcanzan velocidades de transmisión que van entre los 9,6 a los 114 kbps. Posteriormente, en el 2001, aparece la generación 2.5 (EGPRS), la cual logra mejorar la velocidad de transmisión entre 120 a 384 kbps.



Figura 2: Teléfono 2G

2.3. Tercera Generación (3G): Implementado por el año 2000, el hito que marca esta tercera generación es la integración de datos móviles como servicio de alta calidad y fiabilidad, aumentando la banda ancha y cambiando la multiplexación a WCDMA por código, lo que potenció enormemente esta nueva generación de dispositivos. También se mejoró la seguridad en las conexiones de los dispositivos, junto a la calidad en la transmisión y recepción de datos, al menos en puntos estáticos [1]. Un aspecto importante es la introducción del concepto de Calidad de Servicio.



Figura 3: Teléfono 3G

2.4. Cuarta Generación (4G): El gran salto que diferencia esta generación de sus predecesoras se da en el completo enfoque hacia los datos y ya no hacia la telefonía, siendo 100% una red paquetizada IP, implementada en 2010 aproximadamente. Con esto, se elimina completamente la conmutación de circuitos, quedando exclusivamente la conmutación de paquetes, y toda la lógica para la administración de los handover o cambios de celdas pasa a manejarse en las estaciones base, sin necesidad de pasar por la estación de control, a través de sus propios nodos. Por otro lado, se cambia el CDMA por OFDMA para la subida, y SC-FDMA para la bajada, con portadoras de 15 KHz dinámicas, aumentando las velocidades máximas en hasta 100 Mbps en bajada y 50 Mbps en subida [1], haciendo posible navegar a tasas nunca antes vistas en telefonía móvil, pero aún sin llegar a 1 Gbps en punto fijo, como se había establecido en primera instancia en el Release 8 de 3GPP.



Figura 4: Teléfono 4G

Posteriormente, se implementa el 4G LTE ADVANCED (Long Term Evolution), en los Release 10 al 12 del estándar 3GPP, que permite alcanzar velocidades de hasta 1Gbps en punto fijo, y 100 Mbps en movimiento, que eran los requisitos que se buscaban en primera instancia para una cuarta generación, con un máximo de 5 portadoras, aumentando la banda ancha, implementando antenas MIMO 8x8 para bajada y 4x4 para subida, disminuyendo la latencia, mejorando la experiencia de usuario y la calidad de servicio, para finalmente llegar al nuevo 4G LTE ADVANCED PRO, lanzado en los Release 13 y 14, y que mantiene los mismos 20 MHz de ancho de banda del canal, pero aumenta a 32 el número de portadoras, prometiendo velocidades superiores a los 3 Gbps [2].

En específico, se puede hablar de que en esta generación existen 3 partes que conforman esta arquitectura de red denominada EPS (Evolved Packet System). Estas son [3]:

- Dispositivo de usuario: El terminal que se encarga de conectarse a la red y desde el cual el usuario se comunica con el entorno.
- Red de acceso: Esta se denomina e-UTRAN, y a diferencia de las generaciones anteriores, esta integra la estación base y la estación de control en una sola estación denominada eNB (Evolved Node B). Esta se comunica con otros nodos a través de un interfaz de radio denominado "X2", con los que puede gestionar el handover entre nodos, mientras que con los usuarios utiliza "E-UTRAN Uu". Finalmente, para la comunicación con el Core de la red, se utiliza la interfaz "S1", la que se divide en "S1-MME" para el control y gestión en la red, mientras que el interfaz "S1-U" se utiliza para el protocolo de datos que se envían desde y hacia los usuarios.
- Red Troncal o núcleo: A este último tramo se le llama EPC (Evolved Packet Core), y se encarga del control de los accesos a la red, ya sea en autenticación, control de bases de datos, gestión de movilidad de los usuarios, interconexión, señalización, entre otras funciones. Está compuesto principalmente por el MME (Mobility Management Entity) que se encarga de señalización y gestiona el acceso y movilidad de los usuarios, el S-GW (Serving Gateway) que es la pasarela entre la red de acceso y la red troncal, el P-GW (PDN Gateway) que proporciona la conectividad entre las redes externas y la red LTE, el PCRF (Policy Charging and Rules Function), que se encarga de la gestión de políticas de calidad de servicio (QoS) y tarificación, y finalmente el HSS (Home Subscriber Server) que es la base de datos con la información de los usuarios de la red.

Todo lo mencionado anteriormente se puede ver en la siguiente Figura 5:

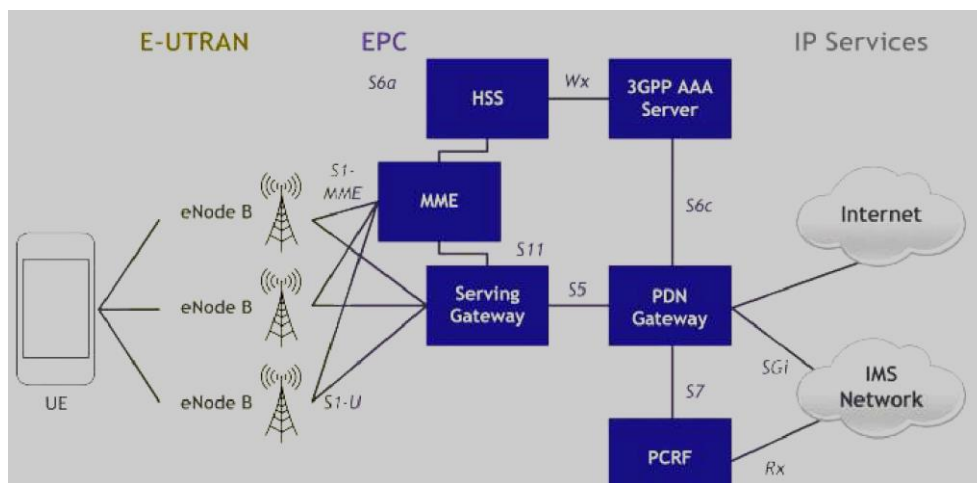


Figura 5: Arquitectura red 4G

Ahora, si se hace un análisis a nivel de acceso de Radio de los PRB, también llamados RB (physical Resources Block o bloques físicos de recursos), se tiene lo siguiente:

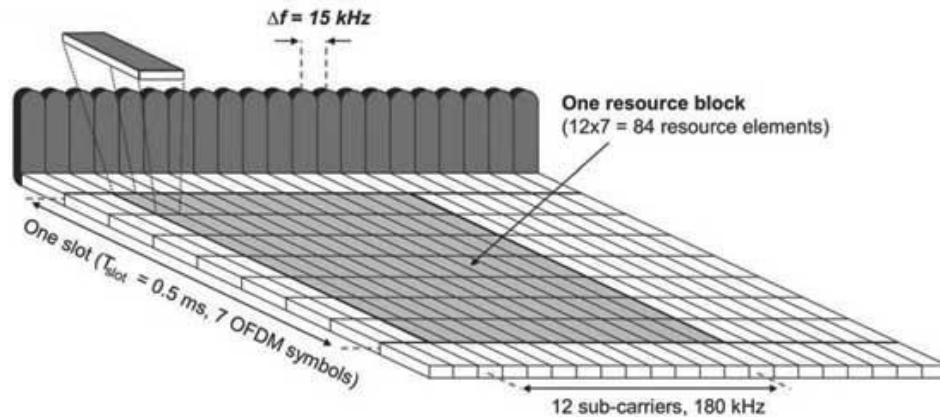


Figura 6: PRB para tecnología 4G LTE

Al revisar la Figura 6, se ve que en la red 4G LTE, con su tecnología de interfaz radioeléctrica OFDMA, se tienen 12 subportadoras de 15 KHz cada una, lo que da un total de 180 KHz de banda a utilizar. Por otro lado, se ve que, dependiendo del ancho de banda del canal, es posible llegar a más resources blocks (ver Tabla 1), la que se obtiene de dividir el ancho de banda por los 180 KHz que ocupa un PRB:

BW [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
PRB o RB	6	15	25	50	75	100

Tabla 1: Número de PRB relativo para cada ancho de banda

De esta forma, entendiendo que cada RB está compuesto por 84 RE (Resources Elements), que vendrían a ser las 12 subportadoras multiplicado por los 7 símbolos que entrega OFDMA, también llamado slot, y que ocurre cada 0.5 ms, se puede hacer una idea de la velocidad que puede entregar esta generación. Por otro lado, todo se mide en tramas de tiempo (frames) que corresponden a 10 ms, y esta a su vez consta de 10 sub-frames de 1 ms cada uno, y por tanto 2 slots por subframe. A esto se debe incluir el tipo de modulación, la cual viene dada por la Tabla 2:

Modulación	bit/símbolo
QPSK (4-QAM)	2
16-QAM	4
64-QAM	6

Tabla 2: Número de bits por símbolo por diferentes modulaciones

Por tanto, en 4G LTE se tiene:

- 1 frame = 10 ms = 10 subframes = 100 frames por segundo
- 1 subframe = 1 ms = 2 slots
- 1 slot = 0.5 ms = 7 símbolos
- 100 RB para 20 MHz de ancho de banda
- 1 RB = 12 subportadoras x 7 símbolos
- 64-QAM = 6 bit/símbolo

Con esto, en un lapso de 1 segundo, se obtiene:

$$V = 100 \frac{\text{frame}}{\text{seg}} * 20 \frac{\text{slot}}{\text{frame}} * 7 \frac{\text{simb}}{\text{slot}} * 12 \frac{\text{subp}}{\text{RB}} * 100 \frac{\text{RB}}{\text{subp}} * 6 \frac{\text{bits}}{\text{simb}} = 100.8 \frac{\text{Mbits}}{\text{seg}}$$

Considerando V = velocidad máxima, simb = símbolos y subp = subportadoras.

Esta velocidad es la que se alcanza sin utilizar antenas MIMO, las que aumentan esta velocidad. Además, se debe considerar que la velocidad bruta que recibe el usuario es aproximadamente el 85% de la velocidad obtenida, ya que el resto se va en control y señalización.

2.5. Quinta Generación (5G): El 5G se caracteriza por ser una evolución al 4G LTE, aunque aumentando enormemente la velocidad de esta, y reduciendo la latencia a valores cercanos a 1 ms. Sin embargo, en esta nueva generación existen 2 fases en su implementación que la diferencian, las que se explican en cada uno de los Releases proporcionados por 3GPP que se verán a continuación.



Figura 7: Teléfono Mate X, compatible con 5G

2.5.1. Release 15, 5G NSA (Non-Standalone): En esta primera fase se busca optimizar la actual red 4G para proporcionar lo que sería la red 5G NSA, reutilizando el hardware y la infraestructura existente del EPC de la red 4G LTE, y haciendo básicamente cambios a nivel de software. Se emplea una modulación OFDMA “escalable”, que implica un aumento variable del ancho de banda del canal para así poder aumentar paulatinamente las velocidades de transmisión de datos. Esta red 5G contempla una nueva interfaz de radio (NR), que se encuentra comprendida entre 2 rangos de frecuencias, el primero entre los

450 MHz a los 6000 MHz, llamado sub-6 GHz, y el segundo entre los 24 GHz y 52 GHz, que serían ondas milimétricas. La red posee un excelente rendimiento comparada a su predecesora 4G, alcanzando hasta 1 Gbps de velocidad y 50 ms de latencia, pero aún sin ser capaz de llegar a los estándares fijados para la segunda fase de su implementación debido a que está utilizando tecnología de su generación predecesora.

Algunos de los requisitos impuestos en este Release para la red son 50 Mbps de bajada en el exterior, y hasta 1 Gbps en interiores, mientras que tan solo la mitad de este ancho de banda para la subida. Con respecto a baja latencia, se espera que a una velocidad promedio de 100 Mbps en movimiento con una latencia de 50 ms y fiabilidad del 99,99%. Además, que soporte múltiples dispositivos conectados en áreas de alta densidad para IoT masivo [5].

Tanto la primera fase NSA y la segunda fase SA tiene el mismo acceso a la red, sin embargo, la diferencia radica en la estructura, en donde la primera no necesita reemplazar la zona de control o Core de la red, pues reutiliza el de la red LTE, debiendo solo hacerse el despliegue de las nuevas estaciones base que permitan soportar la cantidad de subportadoras y especificaciones técnicas de la nueva red 5G, mientras que la segunda requiere de nueva tecnología en su núcleo, dando paso a la alta capacidad y ultra baja latencia, debido a la complementación del radio y del Core en esta nueva tecnología. La estructura NSA se ve en la siguiente Figura 8:

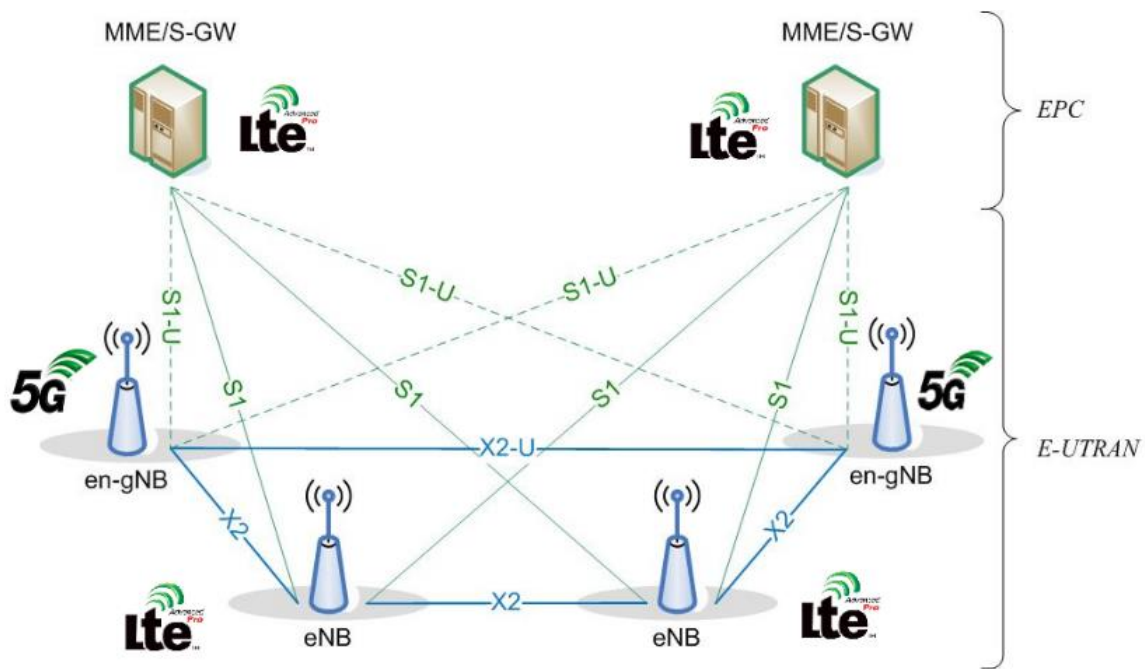


Figura 8: Arquitectura 5G NSA

Es posible apreciar en esta figura como las estaciones base 4G (eNB), las que son los nodos maestros, se comunican con las estaciones base 5G (en-gNB), que son nodos esclavos o secundarios, a través de enlaces X2 que soportan esta conexión [6]. Es por ello que al 5G NSA también se le conoce como e-UTRAN NR de conexión dual (EN-DC). Por otro lado, ambos se comunican con el centro de control de paquetes EPC, propio de 4G LTE, que se encarga de mantener la conexión disponible en todo momento. Este a su vez está compuesto por varias entidades, entre las que destacan:

- Entidad de manejo móvil (MME): El servidor de señalización que se encarga de autenticar el equipo del usuario, administrar llamadas y realizar funciones de control y movilidad.
- Serving Gateway (S-GW): Gestiona el tráfico del usuario y garantiza la calidad de servicio mediante un correcto procesamiento a los paquetes de datos.

La solución 5G Core Network (5GCN) es la evolución de los sistemas EPC (envolved packet Core) y básicamente busca cambiar el control por hardware a un control por software, permitiendo la virtualización de la red y con ello poder particionarla según las necesidades requeridas (Network Slicing) [6]. Sin embargo, en esta primera etapa de 5G NSA, la conexión dual utilizará ambos nodos LTE y 5G, dependiendo de si el equipo del usuario soporta la nueva generación, pero solo el Core EPC de LTE será utilizado en esta arquitectura, tal y como se muestra en la Figura 9. Por otro lado, cabe notar que los nodos 5G NSA serán los mismos a utilizar en la segunda fase SA.

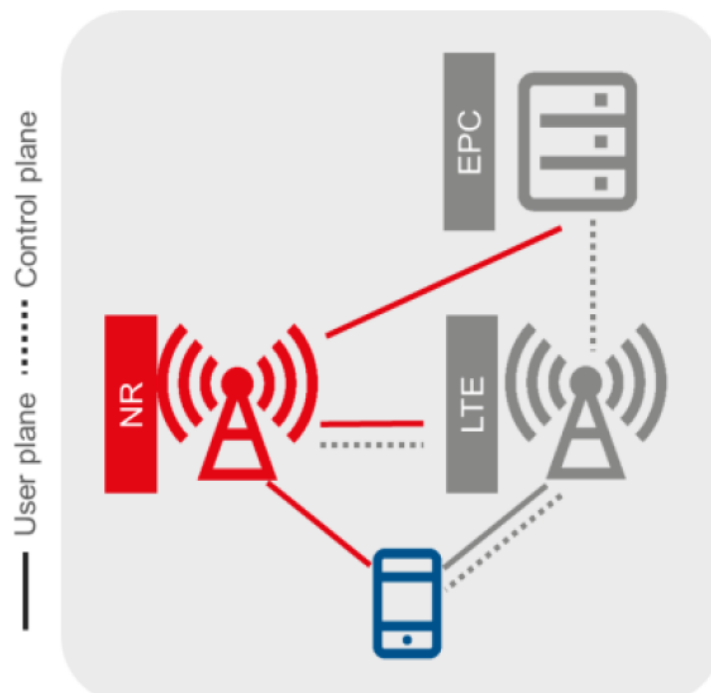


Figura 9: Plano de control y usuario en 5G NSA

Ahora bien, si se analiza esta nueva generación en base a sus PRB (Physical Resources Blocks), en comparación con su generación predecesora, habrá de entenderse el por qué esta tecnología es superior. De esta forma, se ve que 5G posee las siguientes características a nivel de PRB [7]:

- La frecuencia de cada subportadora es $\Delta f = 2^\mu * 15 \text{ KHz}$, en donde μ es el espaciado de la subportadora, y que depende de un "Cyclic Prefix". Esto a su vez varía el número de slots por subframe, lo que se observa en la Tabla 3:

μ	Δf [KHz]	Cyclic Prefix	# de Slot por frame
0	15	Normal	10
1	30	Normal	20
2	60	Normal, Extendido	40
3	120	Normal	80
4	240	Normal	160
5	480	Normal	320

Tabla 3: Número de Slot por frame dependiendo del ancho de banda

Esta frecuencia de cada subportadora al ser escalable se puede adaptar para cada uso y ambiente en el que se vaya a emplear, ya sea frecuencias bajas para espacios exteriores, con multiplexión por frecuencia o tiempo, o frecuencias más altas para aumentar la velocidad en espacios interiores más acotados, utilizando solo la multiplexión por tiempo y llegando a las ondas milimétricas, lo que se ve en la siguiente figura:

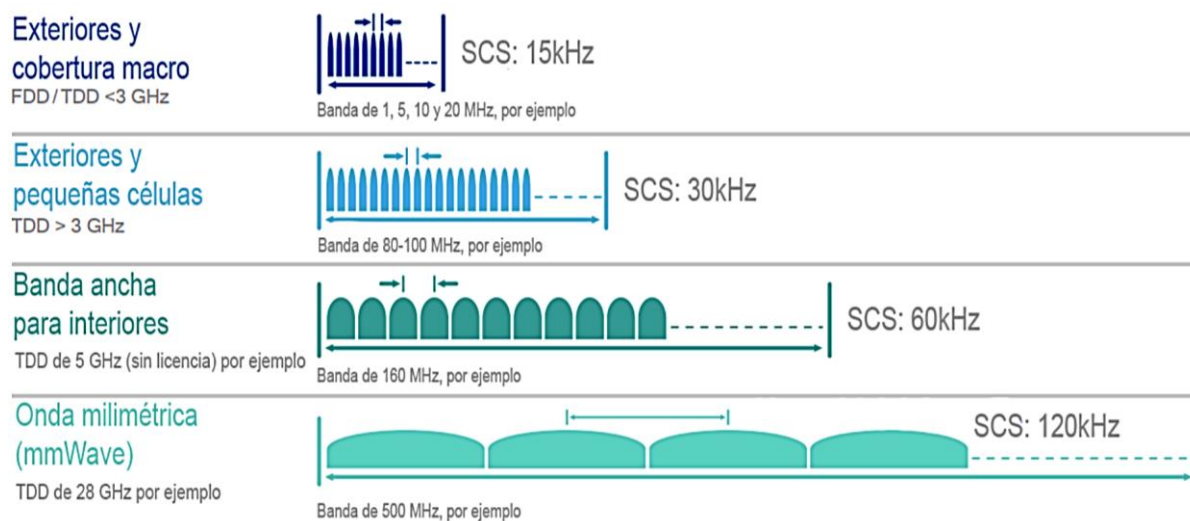


Figura 10: Aumento de banda ancha dependiendo de la frecuencia

Por otro lado, continuando con las características que cumplen los PRB en 5G, se tienen:

- 14 símbolos por slot (con excepción de cyclic prefix extendido, en donde son 12)
- 1 slot = 0.5 ms
- 1 frame = 10 ms = 10 subframes = 100 frames por segundo
- 1 subframe = 1 ms
- Mini-slots con 7, 4 o 2 símbolos
- 12 subportadoras por RB
- Cada slot puede ser para subida, bajada o mixto
- Modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM (2, 4, 6 y 8 bits/seg respectivamente)
- Ancho de banda de canal de 100 MHz, 400 MHz o 1 GHz (dependiendo de cada país según la GSMA [8]). Esto implica que la cantidad de RB varía dependiendo de este factor y de la frecuencia de cada subportadora, tal como se muestra en la Tabla 4:

BW [MHz]	PRB o RB	
	15 KHz x 12 subport = 180 KHz	480 KHz x 12 subport = 5760 KHz
100	550 RB	16 RB
400	2200 RB	68 RB
1000	5500 RB	170 RB

Tabla 4: Número de PRB con respecto a frecuencia de subportadora y ancho de banda

Dado esto, y aplicando el mismo procedimiento para calcular la velocidad de transmisión mínima, con modulación 256-QAM, frecuencia de subportadora de 15 KHz y ancho de banda del canal de 100 MHz, tenemos:

$$V_{15\text{ KHz}} = 100 \frac{\text{frame}}{\text{seg}} * 10 \frac{\text{slot}}{\text{frame}} * 14 \frac{\text{simb}}{\text{slot}} * 12 \frac{\text{subp}}{\text{RB}} * 550 \frac{\text{RB}}{\text{subp}} * 8 \frac{\text{bits}}{\text{simb}} = 740 \frac{\text{Mbits}}{\text{seg}}$$

Ahora, si esto lo llevamos a la misma modulación, pero con frecuencia por subportadora de 480 KHz, en el mismo ancho de canal de 100 MHz, tendríamos:

$$V_{480\text{ KHz}} = 100 \frac{\text{frame}}{\text{seg}} * 320 \frac{\text{slot}}{\text{frame}} * 14 \frac{\text{simb}}{\text{slot}} * 12 \frac{\text{subp}}{\text{RB}} * 16 \frac{\text{RB}}{\text{subp}} * 8 \frac{\text{bits}}{\text{simb}} = 688 \frac{\text{Mbits}}{\text{seg}}$$

Por tanto, al variar la frecuencia del ancho en las subportadoras, no es mucho el cambio en la velocidad, sirviendo principalmente para adaptarse a los entornos interiores y exteriores como se habló previamente. Al aumentar el ancho del canal a 400 o 1000 MHz, básicamente la velocidad aumenta en 4 o 10 veces respectivamente, superando los 7 Gbps, sin utilización de antenas MIMO que aumentan aún más esta velocidad. Es así como se logra apreciar cómo 5G logra superar ampliamente las velocidades ofrecidas por 4G.

2.5.2. Release 16, 5G SA (Standalone): Esta es la segunda fase de la implementación de 5G New Radio, y conlleva la implementación de nuevo hardware al utilizar los núcleos 5GCN, dejando de lado el EPC de 4G. Por otro lado, el radio utilizado en 5G NSA se mantiene, haciendo solo cambios a nivel de software. Esto implica un gran número de nuevos dispositivos a desplegar, nueva tecnología y con ello llegar a los tan deseados números de hasta 20 Gbps, en condiciones teóricas y utilizando anchos de banda entre 400 MHz hasta 1 GHz, y con latencia de hasta 1 ms, junto a todas las características que tanto se desean sobre 5G [8].

En este Release, se da énfasis a todo lo que conlleva la virtualización de la red, acercando la nube a los usuarios y utilizando tecnología SDN, o redes definidas por software, para dar pie a la segmentación virtual de red (network slicing) que permitirá la mejor gestión de los recursos para determinados requerimientos, ya sea ultra baja latencia o un gran ancho de banda.

Como se aprecia en la siguiente figura, esta nueva estructura comprende el terminal de usuario (UE), la red de acceso de radio (nuevo radio, NR) y la red central o Core (5GCN). Por otro lado, las entidades de redes (NE) pasan a reemplazarse por funciones de redes (NF), las que contemplan principalmente la función de gestión de acceso y movilidad (AMF), que accede al equipo del usuario y a la red de acceso, y la función de aplicación (AF) que maneja las aplicaciones [9]. También dentro del 5GCN se encuentra la función de plano del usuario (UPF), que maneja los datos de los usuarios.

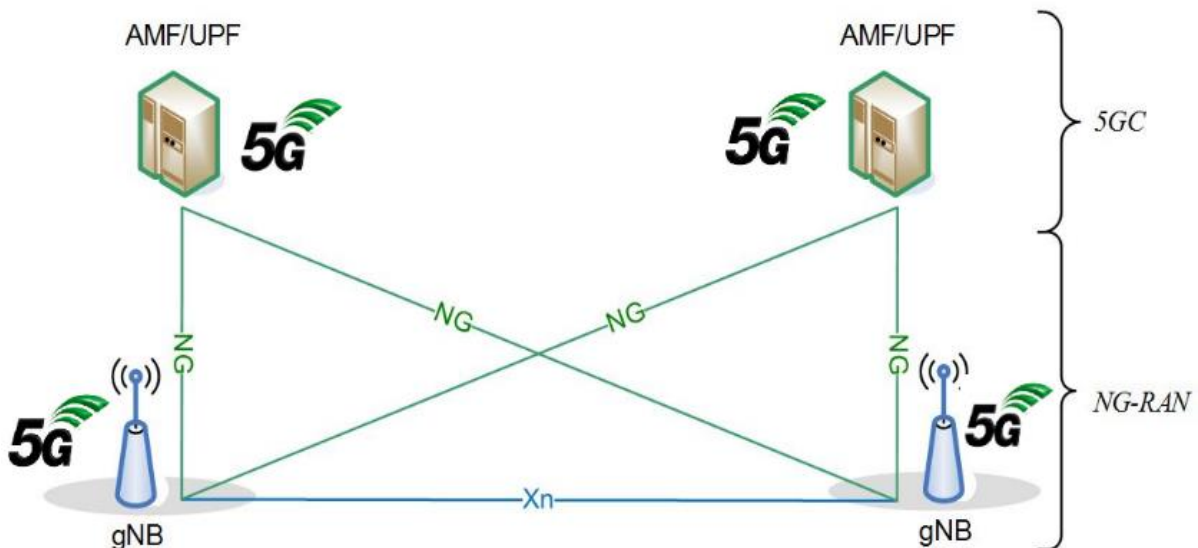


Figura 11: Arquitectura 5G SA

La estación base 5G NR (gNB) ya no necesita elemento alguno de la red 4G, y se conecta con otras estaciones bases a través de enlaces Xn, mientras que la red de acceso AN pasa a llamarse NG-RAN y se conecta a el 5G Core network utilizando una interfaz NG. Esto se ve de mejor forma en la siguiente figura, en donde se aprecia también la independencia de la arquitectura de la 4ta y 5ta generación a nivel de nodos, pero en donde a nivel de núcleos, se logra visualizar que estos aún comparten información entre sí [6].

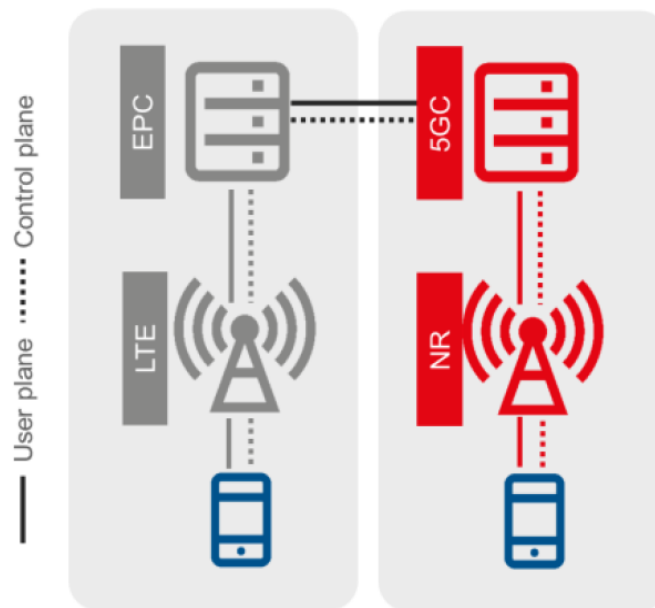


Figura 12: Plano de control y usuario en 5G SA

Finalmente, las propuestas de este Release se enfocan principalmente en los servicios de ultra baja latencia y alta confiabilidad, a diferencia de NSA en donde el enfoque principalmente está en la gran banda ancha y velocidad de transmisión de datos. En particular, el Rel 16 abarca los siguientes puntos [10]:

- Mejora de las comunicaciones de baja latencia (URLLC) ultra confiables (UR)
- Soporte mejorado de sistema 5G de servicios verticales y LAN
- Soporte y evolución de IoT celular
- Soporte avanzado de V2X
- Servicios de ubicación y posicionamiento 5G
- Optimización de señalización de capacidad de radio UE
- Acceso por satélite en 5G
- Activadores para la arquitectura de automatización de red para 5G
- Mejora de convergencia inalámbrica y alámbrica
- Misión crítica, advertencia pública, ferrocarriles y marítimo

- Streaming y TV
- Identidades de usuario, autenticación, multidispositivo
- Segmentación de red (Network Slicing)
- Características de la versión 16 relacionadas con NR
- Versión 16 Características que afectan tanto a LTE como a NR
- Características de la versión 16 relacionadas con LTE

Ahora bien, ¿qué hace exactamente que 5G SA sea significativamente más robusto y con mejor desempeño de velocidad, latencia y conectividad?

A grandes rasgos, la respuesta es su 5G Core Network. Y esto es porque el 5GCN es una nueva generación de núcleos de redes, diseñado para ser montado de forma nativa en la nube y con una gran dependencia de la virtualización, pudiendo ser implementado sin necesidad de altos recursos como sus predecesores, y con sus propias especificaciones de tamaño y capacidad.

A diferencia de 5G NSA, el que solo puede ser considerado para gran banda ancha (eMBB o Enhanced Mobile Broadband), al poseer un Core 5G, esta segunda fase SA es capaz de ofrecer también una comunicación de ultra confianza y baja latencia (URLLC o Ultra Reliability and Low Latency communication), junto a una comunicación masiva de máquinas (mMTC o Massive Machine Type Communication), la que podrá ser ofrecida gracias a la tecnología de Network Slicing para ofrecer diferente calidad de servicio QoS para todo tipo de usos [11].

3. Propiedades del 5G

A diferencia de la tecnología 4G LTE, la 5G tiene como objetivos llegar a ultra alta velocidad (20 Gbps), baja potencia y ultra baja latencia (1ms o menos), para ser utilizada por el IoT masivo, la robótica y el internet táctil. Este último corresponde a aplicaciones de internet que requieren super baja latencia, para alcanzar tiempos de respuestas humanos de todos los sentidos, permitiendo nuevas interfaces de usuario con la realidad virtual, repercutiendo en aplicaciones como cirugías remotas, o videojuegos.

En este sentido, la baja latencia es la que provee que a tiempo real haya interactividad para todos los servicios que actualmente se conectan a la nube, como los vehículos autónomos, por ejemplo. Además, la baja potencia es necesaria para el desarrollo de tecnología IoT que permita que todos los objetos conectados entre sí puedan durar meses o años sin necesidad de intervención humana, ayudando en su autonomía. No se trata solo de velocidad, sino de la siguiente evolución tecnológica enfocada a Smart Cities y sobre todo al IoT masivo.

A continuación, se detallan algunas de las características más relevantes de esta tecnología:

3.1. Ultra alta velocidad: Descargas a velocidades extremadamente altas, que van desde 1 Gbps hasta 20 Gbps (en condiciones ideales teóricas, utilizando un ancho de banda contiguo de 400 MHz a 1 GHz), pudiendo descargar películas completas de alta calidad en solo unos segundos. Esto viene de la mano al eMBB, que implementa esta tecnología, con la que no solo se envían datos a alta velocidad, sino que aumenta la capacidad de datos que pueden ser enviados de forma simultánea. Por otro lado, se garantizarán 100 Mbps en todo momento, con un soporte en movimiento de hasta 500 km/hr y un tráfico a soportar de hasta 10.000 veces más que el tráfico actual, siendo de gran aporte para la visualización de videos streaming de alta calidad, en conjunto a aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada que requieren de una gran cantidad de datos.

3.2. Ultra baja latencia: Esto equivale a decir que el retardo en la comunicación de la fuente emisora y el receptor será extremadamente bajo y de alta confianza (URLLC), llegando a latencias inferiores a 1ms, versus los actuales 30 a 50ms en promedio que ofrece la tecnología 4G LTE. Con esto, se abren las posibilidades para una gran gama de servicios que requieren de alta precisión y de alta velocidad en movilidad, como la conducción vehicular o un procedimiento médico, pudiendo mejorar el tiempo de respuesta. Para llegar a este nivel de latencia, es necesaria la implementación de nueva tecnología que permita el procesamiento masivo de datos a gran velocidad y, por otro lado, que acerque las aplicaciones a los usuarios a través de la nube. Estas características serán necesarias para aplicaciones como la conducción autónoma, los juegos de realidad virtual en la nube y la automatización en las fábricas, entre otras aplicaciones que requieran de gran precisión y sincronización.

3.3. Baja potencia: Al requerir esta tecnología de un mayor despliegue de antenas, producto de las altas frecuencias con las que se trabaja y en busca de la reducción de pérdidas de la señal, se emplean pequeñas celdas conocidas como “small cells”. Estas son más sectorizadas y eficientes, y junto con la tecnología de “Beamforming”, que permite dirigir los haces de energía de forma direccional, ya no será necesaria la alta potencia para brindar un servicio de excelente calidad. Con esto, se dará pie al mMTC, comunicaciones entre máquinas con autonomía de hasta 10 años en dispositivos de bajo consumo y un gran rango de alcance entre ellas, desplegando los cimientos para las Smart cities y todo lo que implica el IoT masivo.

3.4. Segmentación de la red: Una de las cualidades más importantes que se emplearán en el 5G en su segunda fase “Standalone”, es la segregación de la red o

“Network Slicing”, que permite particionar virtualmente la red según sus requerimientos y así poder gestionarla de forma independiente para cada tipo de aplicaciones, pudiendo configurarse los anchos de banda y latencias específicas para cada uso, como la conducción autónoma, por ejemplo, que requiere de muy baja latencia, pero no tanto ancho de banda.

Por otra parte, también se podrá gestionar el aumento o disminución de la velocidad de transmisión de datos para cada servicio y flexibilizar la asignación de recursos y cobertura para eventos masivos, por ejemplo, pudiendo asignar más cuando hubiera una alta conglomeración de gente (partidos, conciertos o marchas), y disminuirlos o reasignarlos en caso de no ser utilizados, entre otras cosas.

Finalmente, esta tecnología permite entregar los requerimientos necesarios para cada servicio por separado, de forma económica y sin necesidad de una infraestructura o hardware adicional, mediante la virtualización de la red. A esto se le suma la tecnología de redes definidas por software (SDN), que permitirá mejorar la administración de recursos, pudiendo dar prioridad a un tipo de paquetes por sobre otros, y todo en tiempo real.

3.5. Múltiples conexiones de dispositivos a la red: Esta comunicación masiva, principalmente llevada a cabo entre máquinas (M2M), se debe mayormente al aumento del despliegue de antenas para una cobertura de mayor calidad. Esto dará pie a múltiples conexiones en simultáneo, apalancándose de su gran infraestructura y recursos, para así fomentar el despliegue masivo de sensores de baja potencia, procesamiento en la nube, y lograr conectar hasta 1 millón de dispositivos por kilómetro cuadrado, lo que fomentará en gran medida el “internet de las cosas” o IoT, que busca ser la tendencia en los próximos años y generará una gran red de dispositivos conectados entre sí.

3.6. Alta confianza: A diferencia de las generaciones predecesoras, la quinta generación debe ser capaz de garantizar una fiabilidad del 99.99% con los datos entregados, esto es, permitir que el sistema, la transferencia, y la recepción de datos, funcionen en todo momento. Es por ello que esta nueva generación mejora sus procesos y optimiza su infraestructura para permitir que así sea.

4. Problema de Bandas para el 5G en el mundo

Actualmente existe un problema a nivel de qué bandas serán utilizadas para el despliegue de la red 5G. Vemos así que los rangos de frecuencias que más se hacen notar en el contexto de las telecomunicaciones son los siguientes:

- 4.1. **Baja frecuencia:** Se habla mucho de la utilización de la banda de 700 MHz para todo el despliegue de amplia cobertura de la red 5G producto de su alta penetración en superficies. En Chile, sin embargo, este espectro está actualmente en discusión debido a que se encuentra tomado por grandes proveedores de servicios, como lo son Entel, Movistar y Claro, dejando fuera a WOM entre otras empresas.
- 4.2. **Frecuencia media:** En la banda Sub-6-GHz, que es como se conoce a las frecuencias que no superan los 6 GHz, las que más se han hecho sonar son las bandas de 3.5 - 3.8 GHz, en donde WOM hizo sus pruebas piloto implementando tecnología 5G en paraderos de buses. Sin embargo, el problema de esta banda, también conocida como Banda C, es que la frecuencia de 3.8 GHz es amplia y antiguamente usada por servicios satelitales, por lo que podría haber un gran problema en su uso futuro en el país.
- 4.3. **Alta frecuencia:** Entendiendo que para un óptimo despliegue de la red 5G con todo su potencial y beneficios, es necesaria la implementación de ondas milimétricas, es necesario hoy en día fijar una banda sobre los 24 GHz. Se ha hablado mucho de utilizar la banda Ka, que contempla entre los 26.5 GHz y los 40 GHz, sin embargo, las 2 bandas que más han hecho ruido en el mundo son la de 26 GHz y de 28 GHz. El problema viene de la mano con esta última, la cual es ampliamente utilizada en servicios satelitales. Es aquí donde empresas como lo son Hispasat (operador en América de satélites de comunicaciones de origen español), se oponen a esta utilización de la banda de 28 GHz, puesto que se generaría un gran conflicto con los satélites ya desplegados, sobre todo porque estos últimos tienen una vida útil que va entre los 15 y 20 años, y los que no pueden ser modificados en el espacio, según un artículo publicado por la Subtel [12].

A través de la organización **5G Americas**, se han establecido las “recomendaciones para el espectro para 5G”, las que establecen los posibles espectros a utilizar para el despliegue de la nueva red de quinta generación, los que se muestran a continuación:

ESPECTRO PARA LA 5G



Frecuencias actuales para telefonía y banda ancha móvil (IMT) en las Américas



698-960 MHz

2110-2200 MHz
1710-2025 MHz

3550-3700 MHz
2500-2690 MHz

ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

3 KHz

300 MHz

700 MHz

1 GHz

1,7 GHz

2,6 GHz

24,25 GHz

300 GHz

Sistemas de navegación

Canales de TV 14-51

GPS

Wi-Fi y Bluetooth
Hornos Microondas

TV Satelital
Wi-Fi (5 GHz)

Frecuencias a estudio para

5G

24 GHz

24,25-27,5 GHz

31,8-33,4 GHz

37-40 GHz

40,5-42,5 GHz

42,5-43,5 GHz

45,5-47 GHz

47 GHz

47 GHz

47-47,2 GHz

47,2-50,2 GHz

50,4-52,6 GHz

66-76 GHz

86 GHz

81-86 GHz

La UIT estableció en la CMR-15 como punto en la agenda de trabajo de la CMR-19 el estudio de 11 bandas "5G" sobre 6 GHz para expandir la capacidad móvil.

ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

Es la porción del espectro electromagnético que abarca el rango entre los 3 KHz y los 300 GHz.

ESPECTRO LICENCIADO Y NO LICENCIADO.

Además de espectro licenciado, 5G requerirá espectro compartido y no licenciado para satisfacer la creciente demanda de datos móviles. Esta arquitectura requerirá redes más densas.

FRECUENCIAS BAJO 6 GHZ.

Estas frecuencias brindan capacidad en el corto plazo capacidad adicional para las redes celulares.

FRECUENCIAS SOBRE 6 GHZ.

Capacidad a largo plazo para que las redes móviles atiendan escenarios con alta densidad de conexiones y servicios que requieran altas tasas de transmisión de datos.

Producción: 5G Americas, abril de 2016. Fuente: White paper: "Recomendaciones para el espectro para la 5G". (5G Americas, 2015).

Figura 13: Recomendaciones de 5G Americas para espectro red 5G

En el informe entregado por la **GSMA** (asociación de sistema global de comunicaciones móviles), se detalla que, tras su investigación, ellos están de acuerdo en que se contemplen 4 bandas para el despliegue de 5G, superiores a 24 GHz [13]. Estas serían las siguientes:

- 26 GHz (entre 24.25 y 27.5 GHz)
- 40 GHz (entre 37 y 43.5 GHz)
- 50 GHz (entre 45.5 y 52.6 GHz)
- 66 GHz (entre 66 y 71 GHz)

La GSMA comprende que las bandas de 26 y 40 GHz son usadas en EESS (servicios de exploración de la tierra por satélite), sin embargo, han mostrado a través de estudios que el margen de protección es considerable, y que en ambos casos podrían coexistir ambos servicios de forma simultánea, al igual que la banda de 66 GHz que no tiene mayores impedimentos para ser utilizada.

Además, podemos ver las bandas que han sido seleccionadas por diversos países para ser utilizadas en su despliegue de 5G. Aquí hacemos la diferencia principalmente en las bandas de frecuencias medias, utilizando principalmente banda C y S, entre los 3.3 – 5 GHz y las

bandas de onda milimétrica, por sobre los 24 GHz, representado por las Figuras 14 y 15, respectivamente:

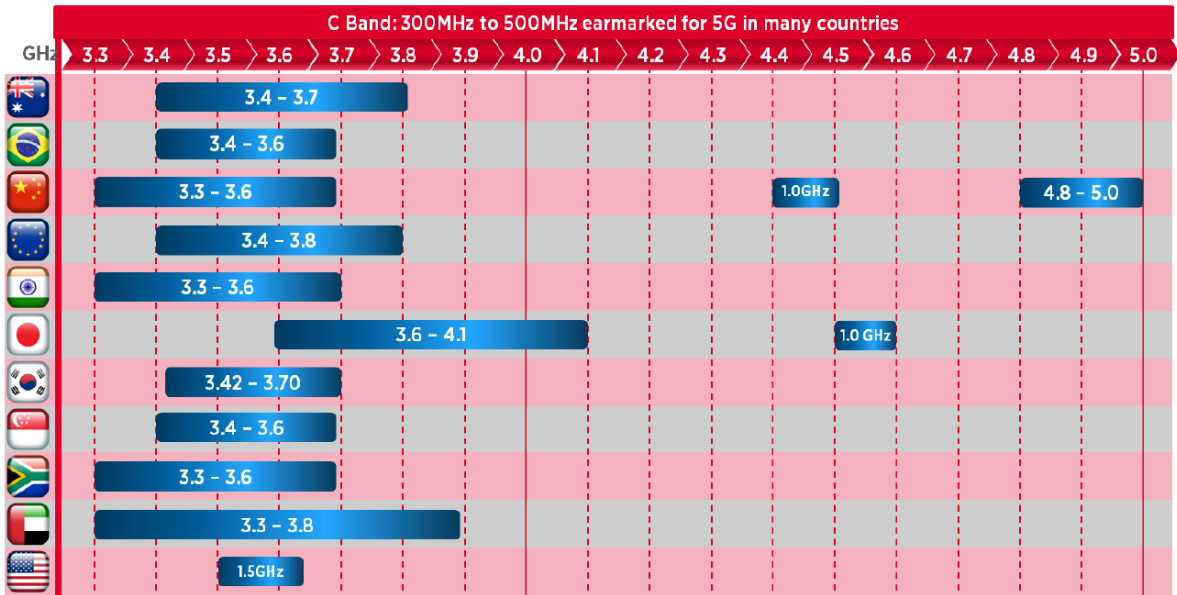


Figura 14: Espectro seleccionado en bandas S y C para despliegue 5G en estos países

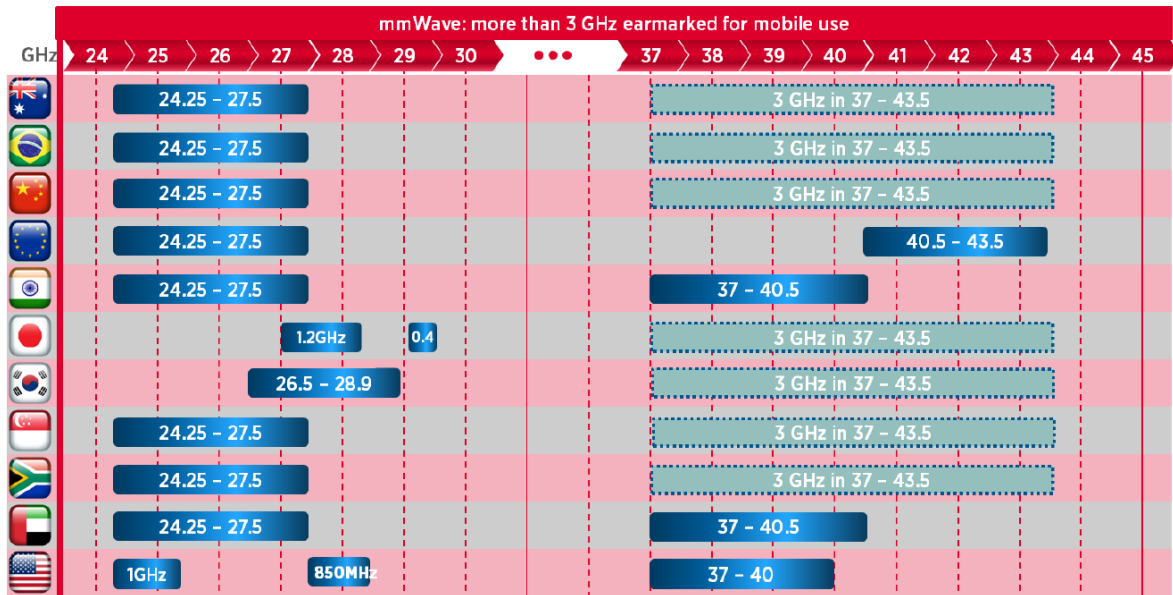


Figura 15: Espectro seleccionado en ondas milimétricas para despliegue 5G en estos países

Por otro lado, tal y como se ha especificado en la unión internacional de telecomunicaciones (ITU) en el IMT-2020, se especifica que el ancho de banda del canal utilizado sea al menos de 100 MHz por operador [6], lo que no se cumple del todo en las frecuencias de 3.5 GHz, y que se debe tener en cuenta por los operadores a futuro para cumplirse con la normativa.

Finalmente, el pasado mes de noviembre del 2019, se llevó a cabo la “conferencia mundial de radiocomunicaciones” (**CMR-19**) en Egipto, en donde se evaluaron entre más de 3000 delegados de 165 países, las nuevas bandas designadas para el despliegue de esta nueva generación de redes móviles. Es así como las bandas identificadas para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) para el 5G fueron:

- 24.25 - 27.5 GHz
- 37 - 43.5 GHz
- 45.5 - 47 GHz
- 47.2 - 48.2 GHz
- 66 - 71 GHz.

En total, son 17.25 GHz que se identificaron para el despliegue a nivel mundial de esta nueva tecnología, todos anchos de banda en ondas milimétricas. Por otro lado, las bandas comprendidas entre los 31.8 – 33.4 GHz, 50.4-52.6 GHz y 81-86 GHz, y que se venían contemplando de igual forma para este uso, no fueron consideradas en esta ocasión [14].

Por otro lado, fueron entregadas protecciones para el uso de servicio satelital de exploración de la Tierra (EESS) en la banda comprendida entre 22.55 – 23.15 GHz, mientras que la banda entre 1 – 13.3 GHz y 38 – 39.5 GHz quedaron como frecuencias para las Estaciones de Plataforma de Gran Altitud (HAPS), las que sirven para aumentar la capacidad de otros proveedores de servicio de banda ancha y que da chance a nuevos servicios comerciales.

Por otro lado, y pese a que actualmente ya se están utilizando de forma masivamente aceptada en el mundo para el desarrollo 5G, para la próxima reunión el 2023, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) definió estudiar oportunidades de espectro adicional para la red 5G en bandas medias (3.3 – 1.5 GHz) y banda baja (por debajo de 1 GHz) [15].

5. Nuevas tecnologías utilizadas por la quinta generación

A continuación, se explican cuáles son los grandes cambios tecnológicos implementados por la red 5G en la interfase de radio, versus la generación anterior, y cuáles son las mayores ventajas y oportunidades de esta red:

5.1. Ondas milimétricas

Actualmente, la gran mayoría de artefactos que utilizan comunicación inalámbrica lo hacen a través de frecuencias que no superan los 6 GHz (Sub-6-GHz). Esto, en el tiempo, ha causado una alta concentración de señales que poco a poco la han saturado y con ello

bajado su alto desempeño, como lo que ocurre en la ya saturada banda libre de los 2,4 GHz y poco a poco en la banda de 5 GHz. En comunicaciones de telefonía móvil, las frecuencias utilizadas se encuentran en el rango de 700 MHz a 2600 MHz, habiendo una densa congestión en su uso. Esto ha generado un gran problema para la implementación de nuevas tecnologías que necesitan de una gran cantidad de recursos en términos de ancho de banda y espectro.

Es por ello que, como solución, en 5G se recurre a ondas milimétricas para su implementación óptima, las que contemplan frecuencias extremadamente altas (EHF) comprendidas entre los 30 GHz hasta los 300 GHz, y con lo que es posible alcanzar mayores velocidades de comunicación entre los dispositivos, debido a que mayores frecuencias permiten transportar una mayor cantidad de datos, junto con el hecho de utilizar un rango de frecuencia mucho menos saturado que en bandas más bajas. Además, al utilizar tecnología de ondas milimétricas, se hace posible utilizar antenas MIMO de forma masiva, las que logran reducir enormemente su tamaño. En particular, para esta quinta generación a implementar, se ha propuesto en la CMR-19 utilizar un rango de frecuencias que va entre los 24.25 GHz hasta los 71 GHz.

Por otra parte, uno de los grandes problemas de estas altas frecuencias es la baja capacidad de penetración. Al mirar la Figura 16, vemos que mientras más alta es la frecuencia, más corta es la longitud de onda [16]. Esto implica que ahora la onda es más susceptible a colisionar con paredes, árboles y todo tipo de obstáculos que interfieren con la comunicación y la transmisión de datos.

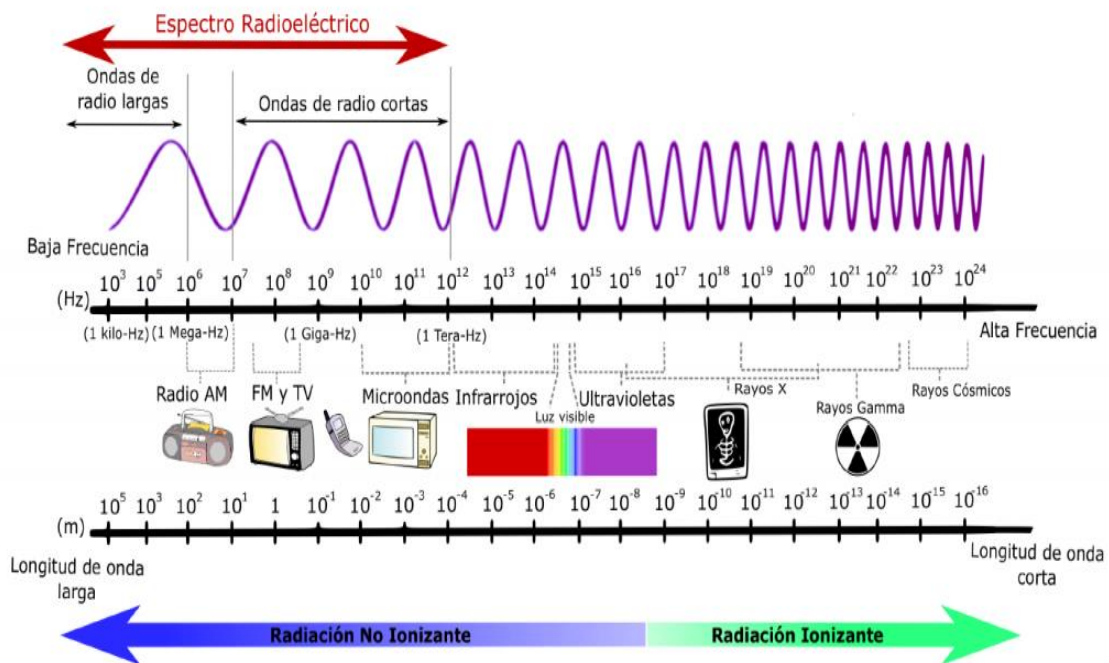


Figura 16: Espectro radioeléctrico

Es por ello que el uso de ondas milimétricas requiere configuraciones y tecnología diferentes a las utilizadas en generaciones anteriores de telefonía, las cuales no habían incurrido en rangos de frecuencias tan altos. Así es como esta tecnología requiere que la comunicación entre la antena y el dispositivo sea más cercana y directa que lo que se había visto hasta ahora, por lo que se hace necesario la instalación de celdas pequeñas, que ayudan enormemente a mitigar este problema.

5.2. Celdas pequeñas

Las celdas pequeñas, o small cells, permiten en gran parte la eficiencia en potencia de esta red. Es así como ya no se concentran todos los dispositivos conectados a una gran celda con una alta potencia, como sucedía anteriormente, y en donde las frecuencias más bajas permitían esta conexión, incluso aunque hubiera obstáculos en el camino. Ahora en cambio, con la tecnología de celdas pequeñas, esa gran celda se conecta a varias celdas pequeñas y repetidores, requiriendo una potencia mucho menor. Por tanto, a cada una de estas pequeñas celdas se conectan múltiples dispositivos cercanos a ella, con lo que se evita las interferencias y pérdidas en la señal producto de obstáculos en el camino. De esta forma, cada usuario, y en particular cada dispositivo, logra una conexión de muy alta eficiencia y velocidad con cada celda.

Uno de los grandes inconvenientes que esto produce es el gran despliegue de antenas requerido para dar una alta cobertura, pudiendo aumentar en decenas de veces la cantidad requerida por generaciones previas de telefonía en comparación a esta nueva red 5G, la que por cierto requiere una inversión monetaria altamente significativa. Además, en cada país existen leyes de antenas que regulan esta práctica bajo ciertas condiciones, las que deben ser aprobadas principalmente por cada municipalidad en donde se vayan a desplegar.

5.3. MIMO masivo

MIMO, que es la sigla de “múltiples entradas y múltiples salidas”, es una tecnología para antenas que permite por un lado mejorar la estabilidad de la señal al evitar la pérdida de paquetes de datos y generando una señal de mejor calidad, mientras que por otra parte aumenta la velocidad de conexión y transferencia de datos producto de las múltiples antenas que funcionan en paralelo, las que a través de desfases permite reutilizar la señal residual que queda en el medio producto de las reflexiones de onda y que anteriormente se degradaban y producían interferencia, reintegrándolas a la conexión original y

disminuyendo la tasa de error[17]. Es por esto que esta tecnología funciona muy de la mano con las ondas milimétricas, que son altamente susceptibles a los obstáculos en el ambiente.

El MIMO masivo contempla arreglos de antenas que va entre 16x16 y 64x64. De esta forma, es posible aumentar la velocidad de subida en lugares cerrados entre 5 a 8 veces, mientras que la velocidad de bajada se duplica, según un estudio realizado por Nokia [18]. Además, las antenas MIMO masivo de mayor capacidad son preferentemente utilizadas para lugares de alta densidad urbana, mientras que para lugares más rurales se utilizan antenas MIMO de menor capacidad debido a que dependiendo del área a irradiar no siempre se mejora significativamente el desempeño [6]. Por otro lado, los terminales 5G que se han lanzado comercialmente al mercado, como el Samsung S10 5G o el S20, poseen antenas MIMO de rango 4x4, que es el estándar en los últimos dispositivos móviles que han aparecido en el último tiempo.

Esta tecnología de múltiples antenas aumenta la capacidad de transferencia de datos de forma lineal dependiendo de la cantidad de pares de antenas disponibles. Esto se puede ver en la ecuación descrita por la ley de Shannon [4]:

$$C \approx W * n * (1 + SNR)$$

En donde:

- C = capacidad
- W = ancho de banda
- n = Número de pares de antenas
- SNR = calidad de la señal

De esta forma, se puede enviar la información en paralelo, aumentando la cantidad de datos transmitidos por segundo. Es así como para LTE, en lo que describe el Release 8, la velocidad aumenta de los 100 Mbps calculados con 20 MHz de ancho de banda a 150 Mbps, utilizando antenas MIMO.

Finalmente, esta tecnología se utiliza en esta nueva generación para ampliar la capacidad de comunicación y las velocidades, producto de la implementación de más antenas dentro de la misma torre, pudiendo dar cobertura a muchos más dispositivos al mismo tiempo, pero esto a su vez puede provocar una mayor cantidad de interferencia. Es por esto que surge la tecnología de Beamforming para resolver este problema.

5.4. Conformación de haces (Beamforming):

Este es un sistema de control de envío de señales que permite dirigirla directamente a un dispositivo, con lo que se evita el envío de señal por todas las direcciones, que es lo que

causa principalmente el MIMO masivo y que produce un gran nivel de interferencias. Con esto, se establece una comunicación mucho más eficiente, personalizada y dirigida.

Así es como los dispositivos que incorporan Beamforming utilizan una técnica llamada “Directional Sensing” que analiza la señal que devuelven los aparatos que están conectados en la red, pudiendo captar la posición y las diversas interferencias que se producen entre el dispositivo emisor y el receptor. A esto se le suma la tecnología de “Multipath”, que envía la señal por múltiples caminos y censa cuál de estos es el más eficiente para una mejor conexión con el dispositivo. De esta forma, la señal a través de sus antenas logra reajustarse para optimizar su radiación en dicha dirección, incluso aunque sea a través de rebotes, para maximizar la potencia recibida por el receptor, mejorando la calidad y velocidad de la señal.

5.5. Full Dúplex:

Esta tecnología permite tener una comunicación bidireccional en tiempo real, utilizando solo un canal gracias a switches de alta velocidad y una multiplexación en el tiempo TDD, sin necesidad de utilizar 2 canales o debiendo alternar el canal para subida y luego para bajada, como se hacía hasta ahora, generando una conexión de muy alta eficiencia. Sin embargo, para que esta conexión se lleve a cabo, se requiere de un gran nivel de sincronización entre el dispositivo del usuario y las estaciones base, lo que puede ser resuelto utilizando GPS [6].

Es así como se realiza la transmisión y recepción simultánea de datos en la misma banda de frecuencia, disminuyendo la interferencia gracias a los avances en la auto cancelación [19], mejorando la latencia y aumentando la ganancia de la velocidad en el envío de datos.

5.6. NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)

Esta tecnología permite brindar los mismos recursos de tiempo y frecuencia a múltiples usuarios, a través de multiplexación por código y por potencia. Esta última ha sido objeto de investigación, debido a su mejor rendimiento para la red 5G que su tecnología predecesora, ortogonal multiple Access (OMA).

Podemos ver en la siguiente Figura 17 que NOMA permite el asignar los recursos de forma diferenciada y óptima para las distintas aplicaciones, lo que es posible de complementar junto a antenas MIMO para tener un sistema con una capacidad total del canal mucho mayor que MIMO-OMA, con lo que es posible atender a múltiples usuarios en simultáneo, y utilizando los mismos recursos de frecuencia, en la misma banda [20].

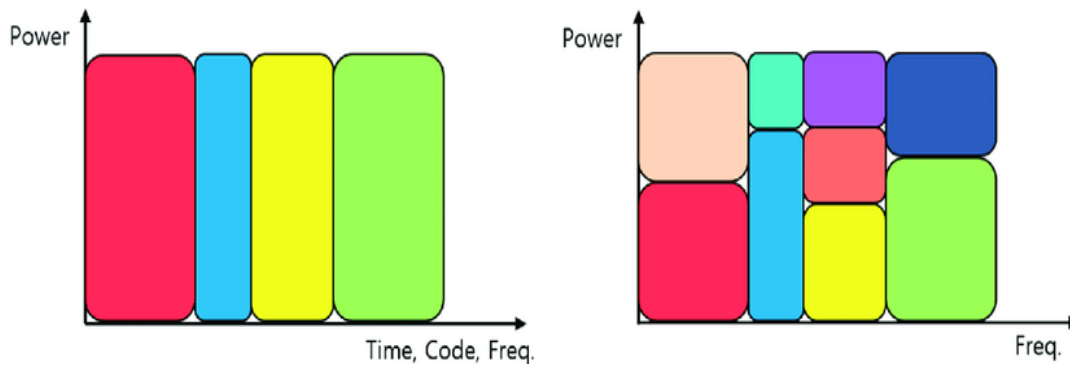


Figura 17: Multiple acceso ortogonal (OMA) vs Multiple acceso no-ortogonal (NOMA)

Por otro lado, esta tecnología genera beneficios adicionales en su eficiencia espectral, con respecto a su predecesora, entre los que destacan la cancelación de la interferencia sucesiva (SIC), que permite reducir la interferencia en las señales, junto con permitir conectividad masiva de múltiples usuarios en simultáneo, la reducción de la latencia, y finalmente permitir la imparcialidad de los usuarios y así mantener la calidad de servicio mediante el control de la potencia entre usuarios fuertes y débiles, ajustándose de forma automática [21].

5.7. Multi-Access Edge Computing (MEC)

La computación de multi acceso periférica, o MEC por sus siglas en inglés, permite acercar las aplicaciones de baja latencia a los usuarios gracias a el alojamiento de estas en la nube, acortando los tiempos de respuesta y permitiendo acceder de forma más directa a los servicios. De esta forma, el procesamiento de la aplicación de servicio se ejecuta tanto en el dispositivo del usuario como en el servidor de esta, en colaboración con ambos proveedores, tanto del servicio como de la aplicaciónu4.

Esta tecnología aporta gran valor a aplicaciones y servicios que exigen de una baja latencia y de una gran calidad de servicio (QoS), como lo son la seguridad, la realidad virtual, realidad aumentada, juegos de videos (ver Figura 18), entre otros [22]. Además, permite aumentar el ancho de banda y disponer de los recursos de forma instantánea, almacenando información en la memoria caché para disponer de ella en otro momento.



Figura 18: Juegos de video de RA utilizando MEC

5.8. Dynamic Spectrum Sharing (DSS)

Esta solución de Software permite implementar el nuevo radio 5G utilizando el espectro de la red 4G ya disponible, solo aplicando un ajuste de software, el que permite poder asignar recursos a las redes dependiendo de las demandas de estas, en forma dinámica, y así poder desplegar una temprana red 5G en el proceso en el que recién se están licitando las bandas, pudiendo adelantarse a la competencia.

En la actualidad, alguna de las empresas que ofrecen este servicio DSS son:

- Ericsson Spectrum Sharing (ESS)
- Huawei – Cloud air/Hybrid DSS
- ZTE – Super DSS (mitad del 2020)
- Samsung/Nokia (mitad del 2020)

El gran problema de esta solución tiene que ver con lo poco que se gana versus el mismo despliegue 4G LTE que se lleva a cabo en esas bandas. Es así como básicamente, la gran ganancia que implica es el poder decir como empresa o país que “ya se tiene desplegada una red 5G”, aunque a nivel técnico no tenga mayor relevancia y limita los recursos de la red 4G al tener que compartirlas con la siguiente generación. Por otro lado, al haber pocos MHz de banda disponibles en las frecuencias más bajas (como 700 MHz o incluso 3.5 GHz), el servicio 5G que podría ofrecerse tendría un muy bajo desempeño.

Finalmente, cabe destacar que ya hay países en Latinoamérica que se encuentran probando esta tecnología para ser implementada, como es el caso de Claro en Brasil, en donde se han llevado a cabo ensayos que han mostrado que ambas redes pueden coexistir en la misma banda, pudiendo alternarse en cosa de milisegundos y permitiendo de forma dinámica adaptarse a las demandas de la red [23].

6.1. Red 5G en Corea del Sur

Hace más de un año, el pasado 3 de abril del 2019, 3 grandes empresas en Corea del Sur activaron sus redes 5G en el país. Es así como **SK Telecom**, **TK** y **LG Uplus** lograron convertir a Sur Corea en el primer país en el mundo en desplegar su red comercial 5G, con una cobertura en más de 85 ciudades [25], mientras que, a su vez, Samsung Electronics, empresa originaria del país, lanzaba el primer teléfono inteligente compatible con esta tecnología, el Samsung S10.



Figura 20: Publicidad 5G Corea del Sur

Tras poco más de 2 meses de desplegada su red 5G, Corea del Sur había superado el millón de suscriptores, alcanzando para ese entonces más de 61 mil radios bases 5G instaladas. Sin embargo, se han generado múltiples reportes de mala calidad en la señal ofrecida, debido principalmente a la baja cobertura y falta de antenas por instalar. Por otro lado, en febrero del presente año solo se han alcanzado 5.36 millones de suscriptores, muy lejos de lo pronosticado por el país, y el nuevo Samsung S20 G5 lanzado a finales de ese mismo mes ha disminuido sus ventas en un 30% en comparación al lanzamiento del S10 en su momento [26].

6.2. Red 5G en Estados Unidos



Figura 21: Publicidad Verizon 5G

Con diferencia de tan solo unas horas adicionales comparado a Corea del Sur, Estados Unidos desplegó su red 5G en las ciudades de Minneapolis y Chicago el pasado 3 de abril gracias a la empresa **Verizon**. Posteriormente han ampliado su cobertura a más ciudades en diferentes estados, incluyendo Dallas, Manhattan, Brooklyn y Queens, entre otras, llegando a 34 ciudades en el primer trimestre del 2020. Verizon ha desplegado su red 5G en la banda de los 28 GHz, utilizando ondas milimétricas para llevar su conexión por las diferentes ciudades [27].

Por otro lado, a casi dos meses de lanzada la red de Verizon, la compañía **Sprint** lanzó en Houston su red “True mobile 5G”, la cual se encuentra actualmente en las áreas de Atlanta, Chicago, Dallas-Fort Worth, Houston, Kansas City, Los Ángeles, Nueva York, Phoenix y Washington D.C. [28].



Figura 22: Mapa de cobertura 5G Sprint

A diferencia de la primera red lanzada en Estados Unidos, esta utiliza la banda de 2.5 GHz para brindar una mejor cobertura, cerrando un acuerdo comercial con la empresa de videojuegos en la nube “Hatch”, entregando 90 días gratis para vivir esta experiencia de videojuegos de alta velocidad, enfocándose exclusivamente en brindar un servicio para de alta calidad para dispositivos móviles.

Por otro lado, el pasado 6 de diciembre entró a competir con los 2 operadores anteriores **T-Mobile**, a la que el 1 de abril se le fusionó oficialmente **Sprint**, y con ello se convirtió en la red 5G más extensa de momento en el país, funcionando en más de 5.800 ciudades y pueblos y dando cobertura a más de 200 millones de personas. Esta red utiliza principalmente la banda de los 600 MHz (Figura 23), y ya posee planes de llegar a la banda de 2.5 GHz. Además, ya hay 3 equipos disponibles para dicha banda 5G, que sería el Samsung Galaxy S20 5G, el OnePlus 7T Pro 5G McLaren y el LG V60 ThinQ 5G [29].

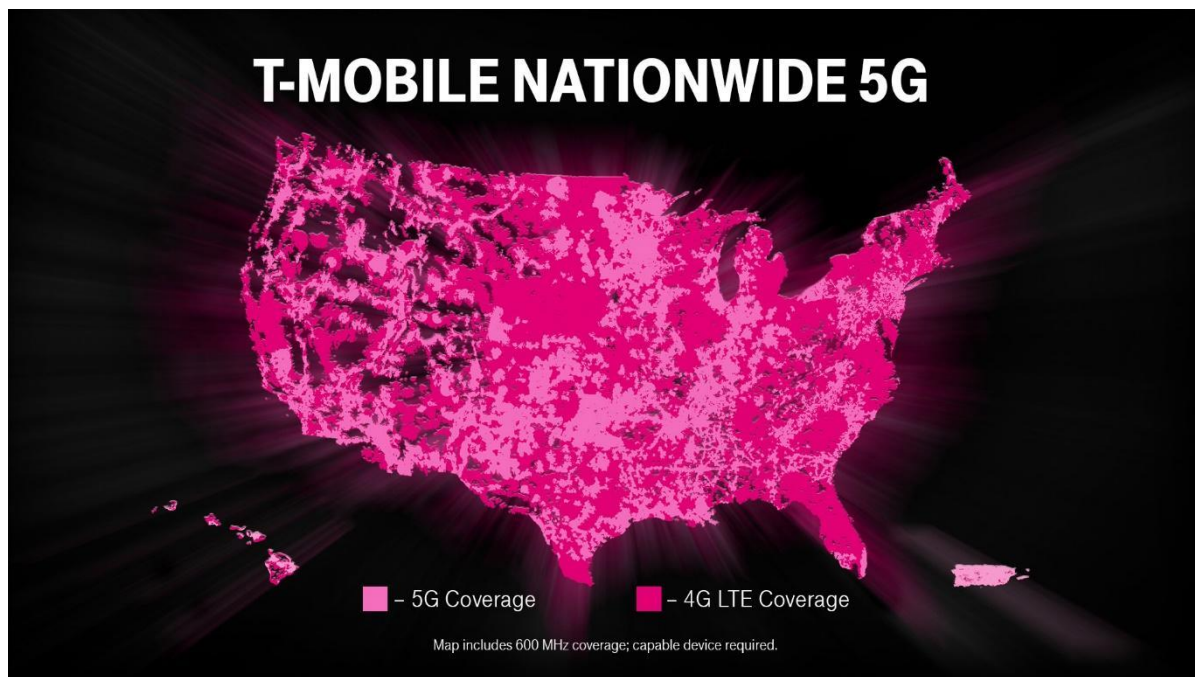


Figura 23: Mapa de cobertura red Nueva T-Mobile

Finalmente, el pasado 18 de mayo del presente año, Nokia realizó con éxito una prueba de velocidad 5G en Dallas, Estados Unidos, rompiendo el récord que tenía Huawei con velocidad de descarga de 3.67 Gbps, y alcanzando finalmente una velocidad de 4.7 Gbps, convirtiéndose a la fecha en la más veloz descarga de datos en redes 5G. Para esto, se utilizaron 800 MHz de ancho de banda en 5G y 40 MHz en red LTE, y la prueba fue hecha ocupando la banda en ondas milimétricas de 28 GHz y 39 GHz, utilizándose la funcionalidad EN-DC disponible en la solución AirScale de Nokia, que básicamente es 5G NSA, utilizando el nuevo radio de 5G y el core de 4G LTE. [30]

6.3. Red 5G en Suiza



Figura 24: Publicidad Swisscom

Fue el 17 de abril del 2019 el día en que inició la operación de una de las redes más grandes de Europa en cuanto a 5G se trata, la red en Suiza.

Este despliegue comenzó con 102 localidades, en 54 ciudades, y se proyectó rápidamente para alcanzar un 50% de la población al año 2024, sin embargo, ya en enero del año 2020, ha logrado llegar al 90% de su población llegando a 428 ciudades según la operadora **Swisscom**, quien fue la encargada de montar esta gran arquitectura.

Por otro lado, la operadora ofrece velocidades de 1 Gbps para sus usuarios, junto con ofrecer un servicio 5G+ en ya 268 localidades, con velocidades de hasta 2 Gbps. Además, resultó ganadora del premio de la “mejor red de conectividad móvil 1/2020” [31].

Junto a ella, también se encuentra la operadora **Sunrise**, quien ha aportado con el gran despliegue en la zona, llegando a 426 ciudades y pueblos conectados con su red 5G. Esta empresa incorpora un servicio “Sunrise Game Cloud”, el cual ofrece más de 50 juegos en línea directamente al smartphone gracias a esta nueva generación, regalando el primer mes de prueba [32].



Figura 25: Publicidad Sunrise

En total, son más de 2.000 antenas desplegadas en todo el país por los operadores de telefonía móvil, sin embargo, actualmente las nuevas instalaciones se encuentran pausadas debido a rumores sobre el posible daño a la salud que estas frecuencias puedan causar en el ser humano. Es por ello que desde la oficina federal

de medio ambiente se ha dado la orden de paralizar el avance de las torres 5G. Casos similares se han dado en otras localidades de Europa, principalmente ocasionado por el miedo a la pandemia del Covid-19 y alguna posible relación con las emisiones de esta nueva generación, lo que por cierto no está probado y no existen pruebas para fundamentarlo [33].

6.4. Red 5G en China



Figura 26: Publicidad de China 5G

El pasado 1 de noviembre, China adelantó el lanzamiento de su red 5G, dando cobertura a 50 ciudades en el país por parte de las empresas **China Mobile, China Telecom y China Unicom**, con el respaldo del gobierno. Es de esta forma que el país asiático, sin ser el primero en desplegar su red comercial, logra convertirse en la red 5G más grande implementada a la fecha en el mundo, con un gran despliegue de antenas en cada ciudad [34]. En la actualidad, hay desplegadas más de 160.000 estaciones base de 5G en el país, y se buscan que estas lleguen a finales del 2020 a 550.000 entre los

3 operadores de telefonía móvil [35], considerando que China representará el 70% de todas las conexiones globales de esta quinta generación en este año, según la GSMA [24].

Dentro de las 4 grandes empresas proveedoras de hardware y dispositivos 5G como lo son Ericsson, Nokia, ZTE y Huawei, esta última es la que tiene mayor participación en el mercado, anunciando que cuenta aún con 60 contratos comerciales 5G con empresas y países en todo el mundo, lo que habla de la fuerte tendencia que esta tecnología representará en los próximos años.

El 6 de junio ya habían sido entregada las licencias a 4 empresas de telecomunicaciones de China por parte del ministerio de industria y tecnología de la información de China. En aquella ocasión, se les permitió a las 3 empresas chinas ya nombradas, junto con China Broadcasting Network, poder operar y desplegar sus redes en las bandas 24-27 GHz, 37-42.5 GHz [36], 3.3-3.6 GHz y 4.8-5 GHz.

Por otro lado, el pasado 22 de abril, China se ha convertido en el país con la antena más alta 5G instalada hasta el momento en el Monte Everest, por sobre los 5000 mt de altura, en colaboración a las empresas de telecomunicaciones chinas y Huawei, alcanzando velocidades de bajada de hasta 1G Gbps, aún en tan extremas condiciones [37]. Cabe destacar que este último operador, **Huawei**, ha construido al menos 35 de todas las redes

comerciales implementadas en el mundo, y en la UE, tiene el 31% del mercado en infraestructura celular [34].

Finalmente, la ciudad de Nanjing se ha convertido en una de las primeras en el mundo en tener una implementación de 5G SA, implementada por Huawei y China Telecom, siendo utilizada en redes eléctricas para la gestión precisa de unidades de procesamiento de carga de la red, cumpliendo con las especificaciones de 3GPP para despliegue Stand Alone [38].

6.5. Red 5G en Reino Unido

La filial británica de telefónica, “O2”, se ha encargado de proveer actualmente de tecnología 5G NSA en 30 ciudades, las que son Belfast, Birmingham, Bradford, Bristol, Cardiff, Chatham, Coventry, Derby, Eastbourne, Edinburgh, Gateshead, Glasgow, Leeds, Leicester, Lisburn, Liverpool, London, Lowestoft, Luton, Manchester, Mansfield, Northampton, North Shields, Norwich, Nottingham, Sheffield, Slough, South Shields y Stoke-on-Trent. Sin embargo, se han propuesto llegar a 50 ciudades para el verano del presente año 2020 [39].

La empresa ha utilizado exclusivamente la tecnología de Nokia y Ericsson para montar sus estaciones base, sin embargo, se han abierto recientemente a utilizar la tecnología del gigante asiático Huawei en la instalación de sus redes, a pesar de la petición de Estados Unidos de no aceptarlos, pero con restricciones, como una cota máxima del 35% del mercado y no poder instalar su tecnología en zonas sensibles de información [40].



Figura 27: Publicidad de O2 de 5G

La empresa O2 ha implementado todo su servicio 5G en la frecuencia de 3.4 GHz, pero acotada a sólo 40 MHz de ancho de banda, haciéndose difícil para la empresa llegar a las velocidades prometidas. Aun así, la empresa ofrece en sus servicios, en colaboración con MelodyVR, empresa dedicada a la realidad virtual inmersa en la música, y Oculus, empresa de lentes de realidad virtual de Facebook, conciertos musicales y acceso a sesiones de estudio de artistas, a través de la tecnología VR [41].

Cabe notar que esta tecnología 5G se utiliza en realidad virtual principalmente por la gran cantidad de datos que se necesitan para lograr descargar un concierto completo en una visión de 360 grados. Por otro lado, al ser 5G NSA, aún no se cumpliría con el estándar de “tiempo real” si se quisiera ver un concierto en vivo y en directo, pero al estar estos dentro

de los repositorios de descargas, se puede vivir una gran experiencia gracias a ambas tecnologías.

Por otro lado, O2 no es la única red 5G operativa en el Reino Unido. En marzo del 2020, se sumó a la competencia la operadora EE, proveyendo actualmente servicio de red 5G en 71 ciudades y grandes pueblos en la región, con servicios no solo de telefonía móvil, sino con



Figura 28:
Servicio 5GEE Home

FWA, ofreciendo módems compatibles con 5G para transmitir vía WIFI internet en el hogar, tomando directamente la señal 5G que se encuentra actualmente instalada en la ciudad. Y aunque este internet hogar alcanza hasta 150 Mbps, aún lejos de las velocidades esperadas para esta tecnología, no requiere de ninguna conexión adicional a un enchufe para acceder a la red, lo que lo hace una excelente opción [42].

Finalmente, es necesario mencionar que la gran ola de desinformación y pánico ha afectado enormemente a Reino Unido por el tema del coronavirus y su posible “relación” con la tecnología 5G. Es así como en el mes de abril se han reportado diversos casos de destrucción de antenas de red de quinta generación por la filtración de un video en donde se explica que estas son las que han provocado la activación del virus, lo que claramente ya ha sido desmentido por la sociedad científica. Sin embargo, esto ha causado un escenario de incertidumbre frente al avance que se había estado llevando a cabo hasta la fecha [43].

6.6. Red 5G en España

La empresa **Vodafone** dio la bienvenida a la tecnología 5G en 15 ciudades de España el pasado 15 de junio del 2019, llegando a las ciudades de Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Málaga, Zaragoza, Bilbao, Vitoria, San Sebastián, Coruña, Vigo, Gijón, Pamplona, Logroño y Santander, y posteriormente ampliándose a 2 ciudades más.

La red fue desplegada utilizando la banda de los 3.7 GHz, y se ha desplegado con la mitad de su cobertura y velocidad, pero sin cargos adicionales, buscando llegar a sus máximos a finales de año, alcanzando casi 2 Gbps de velocidad, según la empresa. Por otro lado, se han implementado radios bases de 2 de los grandes proveedores de 5G en el mundo, Ericsson y Huawei.



Figura 29: Publicidad Vodafone de 5G

Para mejorar la cobertura, los operadores en España han esperado ansiosos la licitación de la banda de los 700 MHz, pero debido a la contingencia que ha provocado el coronavirus en Europa, esta ha sido aplazada, al igual que en otros países de la Unión Europea como Francia, Austria y Portugal [44].

Cabe destacar que al igual que China, Vodafone ha comenzado ya a hacer pruebas en 5G SA en entornos profesionales, realizando una llamada a distancia utilizando esta nueva tecnología y ya con varias pruebas piloto al respecto [45].

Finalmente, Vodafone ha cerrado un acuerdo con la empresa de Cloud Gaming “Hatch”, para ofrecer 1 año de servicio a quienes contraten planes con 5G. De esta forma, buscan acercar a nuevos usuarios a vivir los beneficios de esta nueva generación de telecomunicaciones [46].

6.7. Red 5G en Uruguay



Figura 30: Publicidad Antel de 5G

La empresa **Antel**, en colaboración con Nokia, fue la primera en Uruguay en lograr implementar una red 5G en el departamento de Maldonado, en la zona de la Barra de Maldonado, y en la localidad de Nueva Palmira, Colonia, ambas el pasado 10 de abril del 2019, convirtiéndose en la primera red comercial activada en Latinoamérica y la tercera en el mundo, según las palabras de Andrés Tolosa, presidente de Antel. Además, añadió que la red es capaz de soportar hasta 1 millón de dispositivos conectados por kilómetro cuadrado y velocidades sobre 1 Gbps.

Antel ha sido la impulsora de los cambios de tecnología en telecomunicaciones en el país, liderando en lo que refiere a utilizar nuevas generaciones en telefonía, y habiendo sido quien impulsó la utilización de sus predecesoras, las redes 3G, 4G y LTE. Sin embargo, para esta nueva generación, aún no han implementado planes ni servicios adicionales, aparte de la cobertura en las ciudades antes mencionadas, debido a que cuando se lanzó la red estaban recién comenzando a aparecer teléfonos inteligentes con compatibilidad 5G en el mundo, esperando ahora la llegada masiva de estos a Latinoamérica para su comercialización [47].

Por otro lado, en Uruguay se ha estado trabajando para lanzar en este primer semestre 2020 la receta digital nacional, que busca eliminar el papel para digitalizar la información y

con esto aumentar la accesibilidad y confianza de esta misma, y para ello tecnologías como 5G y LTE se han vuelto una herramienta indispensable para llevar a cabo dicho proyecto [48].

6.8. Red 5G en Japón

El pasado 25 de marzo fue el turno de Japón en desplegar su red comercial 5G gracias al operador NTT Docomo, el cual se adelantó por unos días a sus competidores KDDI y SoftBank, los que posteriormente lanzaron también sus redes comerciales.

Lo potente de este país está en la calidad de su red, la que se encuentra entregando una velocidad máxima de transmisión de datos de 3.4 Gbps . Por otro lado, el operador tiene como planes llegar en junio a alcanzar los 4.1 Gbps, y hacerlo en toda la isla [49].

6.9. Red 5G en el mundo 2020

En lo que va de este año, son múltiples los países que se han sumado a esta nueva generación, desplegando redes comerciales en varias de sus ciudades. Algunos de estos son:

- **Canadá** (enero 2020): El operador **Rogers** lanzó su red comercial en 4 ciudades de Canadá, las que incluyen Vancouver, Toronto, Ottawa y Montreal. La red fue lanzada en la banda de 2.5 GHz y buscará ampliarse a 600 MHz para este año, llegando a las 20 ciudades con cobertura 5G [50].
- **Austria** (enero 2020): El operador **A1** desplegó su red en 129 municipios de Austria, instalando 350 antenas 5G. Con ello, y en colaboración a sus 54.000 km de fibra óptica, se vuelve una poderosa opción en telefonía móvil, utilizando la banda de los 3.5 GHz [51].
- **Tailandia** (marzo 2020): Gracias al operador **True Move H** se ha conseguido desplegar red 5G en Tailandia en 77 provincias, utilizando principalmente espectros bajos de frecuencias [52]. Por otro lado, el operador **AIS** ha ido más lejos, no solo ampliando enormemente su cobertura, sino que desplegando red 5G en las bandas de 700 MHz, 2.6 GHz y 26 GHz, brindando conectividad tanto en grandes espacios como incluso dentro de los malls en Bangkok [53].
- **Bélgica** (abril 2020): A través del operador **Proximus**, Bélgica ha logrado dar cobertura a 50 ciudades, entregando internet ilimitado dentro de Bélgica y hasta 50Gb en la Unión Europea, y todo esto por 40 Euros al mes [54].

7. Red 5G en Chile

El pasado 13 de enero del 2020 se publicaron las bases para los concursos públicos en los despliegues de redes inalámbricas de alta velocidad (LTE Advanced Pro, 5G y superior) a través de la Subtel. Aquí se estipulan los que serían a futuro los anchos de banda permitidos por cada banda de frecuencia a licitar para la red 5G, a través de 4 procesos para cada una de las 4 bandas a disponer. En la siguiente tabla se muestra la banda a licitar y los recursos y duplexaciones asignados [55]

Concurso o proceso	Espectro disponible	Duplexación	Cantidad de bloques	Ancho de banda de cada bloque	Total de ancho de banda a licitar
700 MHz	703-713 y 758-768 MHz	FDD	1	20 MHz	20 MHz
AWS	1.755-1.770 y 2.155-2.170 MHz	FDD	1	30 MHz	30 MHz
3.5 GHz	3.3-3.4 y 3.6-3.65 GHz	TDD	15	10 MHz	150 MHz
28 GHz	27.5-28.3 GHz	TDD	2	400 MHz	800 MHz

Tabla 5: Recursos asignados por la Subtel para las 4 licitaciones de bandas 5G

Como es posible de ver, para la banda de 700 MHz solo se han asignado 20 MHz en total, mientras que para la banda AWS, 30 MHz. Por otro lado, para las bandas más importantes para el despliegue 5G a nivel mundial, que son la de 3.5 GHz y 28 GHz, se han asignado 150 MHz y 800 MHz respectivamente.

Es importante ver que en las bandas de 700 MHz y la AWS, y con los recursos asignados, no es posible cumplir con las velocidades propuestas por el ITU-2020 para el 5G, con velocidades de 10 a 20 Gbps, dado que para esto se requiere de un espectro contiguo mucho mayor, y que incluso en la banda de 3.5 GHz, asumiendo los 150 MHz disponibles para un solo operador, sería una tarea difícil de alcanzar a nivel técnico. Es por esto que en estas primeras 3 bandas a licitar, lo que se prioriza principalmente es la alta conectividad y cobertura.

Referente a estos 2 puntos, el documento proporcionado por la Subtel especifica que para las bandas de 700 MHz y AWS, se debe alcanzar una cobertura mínima de 200 km² para las regiones más pobladas del país (Metropolitana, Valparaíso, Biobío, Maule y la Araucanía), mientras que solo 100 km² para el resto de las regiones en la banda de 700 MHz y para la banda AWS en todo el territorio chileno. Por otra parte, para la banda de 3.5 GHz se pide una cobertura mínima de 40 km², mientras que para la de 28 GHz se pide un mínimo de 1 km², haciendo referencia a su corto alcance producto de las altas frecuencias.

Por otro lado, en Chile existen actualmente problemas de licitación con las bandas de 700 MHz y de 3.5 GHz, debido a conductas monopólicas de diversos operadores de telefonía e internet móvil, los que han estado acaparando los anchos de banda, sin permitir la entrada de nuevos competidores, o al menos haciendo muy difícil su ingreso tras las altas barreras de entrada para conseguir espectro, entre otras cosas. Así fue como el 2013, tras llamarse a concursar por la banda de 700 MHz, las empresas de Entel, Claro y Telefónica se adjudicaron 130 MHz, 115 MHz y 115 MHz, respectivamente, sin respetar el límite máximo de 60 MHz permitidos y entorpeciendo la posibilidad de entrada a nuevos competidores a futuro.

Es por ello que el 12 de marzo del 2014, la Corporación Nacional de Consumidores y Usuarios de Chile (Conadecus), incentivada por WOM, presentó ante el TDLC una demanda para que Entel, Claro y Movistar tuvieran que devolver el espectro adjudicado en la banda de 700 MHz debido a superar el cap de 60 MHz. Por otro lado, el 7 de septiembre del 2016, Conadecus realizó una nueva denuncia ante la Fiscalía Nacional de Economía (FNE), acusando a las 3 grandes empresas de “abuso de posición de dominancia colectiva” y “cierre anticompetitivo del mercado hacia la compañía”.

Finalmente, el 25 de junio del 2018, la corte suprema resolvió acoger el reclamo hecho en contra de las 3 grandes empresas por acaparar la banda de 700 MHz, llamado que en noviembre del mismo año fue reiterado por el TDLC, exigiendo que se “enajenaran” 30 MHz de ancho de banda por parte de Entel, y 20 MHz por parte de Claro y Movistar, en cualquiera de las bandas que las empresas desearan. Es de esperar que WOM se adjudique en gran parte el espectro que vayan a devolver las empresas, o que incluso pueda entrar un nuevo participante en el mercado, como se muestra en la siguiente Figura 31 [56]:

Concesionario	Total Inicial MHz	Desprendimiento MHz	Total MHz
Entel	150	-30	120
Claro	115	-20	95
Movistar	115	-20	95
VTR	30	0	30
WOM (hipótesis de compra)	60	+30	90
GTD	0	0	0
Entrante (hipótesis de compra)		+40	+40

Figura 31: Espectro enajenado y posibles nuevos adjudicatarios de este

Todo esto ha llevado a Subtel a intervenir en el límite máximo del espectro y la correcta distribución para permitir una competencia “más justa”, aun cuando no se ha hecho respetar la sentencia de la corte suprema por parte de las empresas que hasta la fecha no

han devuelto el espectro, ganando tiempo a través de diversas estrategias y recursos de protección. De esta forma fue que el pasado 4 de diciembre se lleva a cabo un cambio por parte de la Subtel del límite máximo de ancho de banda permitido por las empresas, que se adjunta en el Anexo 1, lo que da paso al futuro despliegue 5G.

Por otro lado, pasando a la banda 3.5 GHz, que a todas luces se vislumbra como una de las más importantes para la implementación de 5G en Chile y el mundo, se produce un problema en la nueva licitación, debido a que ya hay empresas de telecomunicaciones en el país que tienen adjudicada parte de dicha banda, la que fue ofrecida para otros servicios en el pasado pero que hoy en día pueden permitir a dichas empresas tomar ventaja por sobre las compañías que no tienen acceso a esta, por lo que el pasado 19 de junio del 2018 se habría pausado o “congelado” su uso. Sin embargo, el 3 de octubre del 2018, la Subtel decidió “descongelar” parte de esta banda para servicios de telefonía inalámbrica, liberándose 50 MHz de los 100 MHz que tenía Entel, mientras que a Claro, Movistar, VTR y GTD le liberaron 30 MHz de los 50 MHz que poseían. En la figura 32 se muestran los anchos de banda originales [57]:

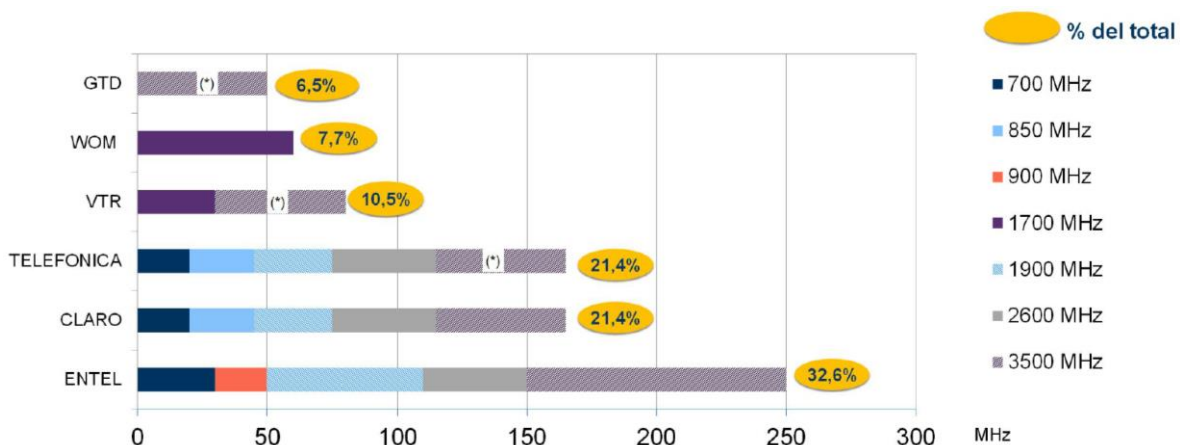


Figura 32: Porcentaje de espectro asignado por banda a cada empresa de telefonía

Es por este descongelamiento que telefónica pidió al TDLC que “nivelara la cancha” para que todas las empresas de telecomunicaciones puedan comenzar a la par en el despliegue de la red 5G en la banda de 3,5 GHz, ya que el hecho de que existan empresas con diferente espectro asignado genera una desventaja para las empresas que poseen menos espectro, o que simplemente no poseen, tanto para pruebas como para un despliegue temprano de la red [58].

Ante esto, la Subtel en la futura licitación de esta banda ha ordenado un “reordenamiento voluntario”, manteniendo el ancho de banda ya adjudicado por dichas empresas y permitiéndoles postular a la licitación, pero dando paso a que los bloques puedan ser reordenados con el fin de dar banda contigua a los operadores, lo que es necesario para un correcto y óptimo funcionamiento en el despliegue 5G del país a nivel técnico, generando

una nueva concesión para los próximos 30 años tanto a las empresas nuevas como a las antiguas que estén operando dentro de esta banda.

Por tanto, las reglas del juego ya están estipuladas, y solo faltaba que se llamase a licitación para poder adjudicarse los proveedores las diferentes bandas, proceso que se había visto afectado por la pandemia mundial, generando preocupación en la economía de las empresas de telecomunicaciones y en el riesgo que estas corren para hacer inversiones en esta nueva tecnología, sumándose a que aún no se había resuelto el conflicto de enajenación de la banda de 700 MHz, lo que había llevado a postergar el proceso nuevamente, hasta el pasado sábado 1 de agosto, día en el cual la Subtel publicó el llamado oficial a la licitación de estas 4 bandas, a través de un concurso del cual se darán a conocer sus bases el 17 de Agosto del 2020 [59]. Los 4 procesos que se llevarán a cabo en paralelo y ratifican las siguientes bandas y anchos de banda respectivos:

1. 10 MHz de espectro en la banda de 703 a 713 MHz y otros 10 MHz entre los 758 y 768 MHz.
2. 15 MHz en la banda de 1.755 a 1.770 MHz y otros 15 MHz entre los 2.155 y 2.170 MHz.
3. 100 MHz en la banda de 3.300 y 3.400 MHz y otros 50 MHz entre los 3.600 y 3.650 MHz.
4. 1.600 MHz de espectro a licitar en la banda de 25.9 a 27.5 GHz.

Al comparar la última información entregada con la de Enero del 2020, vemos que todas la bandas y anchos de bandas fueron los mismos designados previamente, salvo en la banda alta, en la cual se bajó de los 27.5 GHz a los 25.9 GHz, pero en donde se asignaron más recursos, pasando de 800 MHz de ancho de banda a los 1600 MHz.

7.1. Pruebas 5G realizadas en Chile

Actualmente, pese a aún no tener una red comercial 5G desplegada en el país, el proveedor de servicios de internet y telefónicos WOM tiene desplegada una red piloto de 5G NSA en el centro de Santiago, en colaboración con el ministerio de transporte y telecomunicaciones, para proveer internet en paraderos de buses. Sin embargo, se han hecho pruebas y demostraciones del funcionamiento de esta nueva generación por parte de diferentes ISP en colaboración a universidades y empresas. A continuación, se hace un resumen de dichas pruebas realizadas:

7.1.1. Prueba 1: Demostración récord en Universidad de Chile

Esta es una de las primeras pruebas 5G realizadas en Chile, en donde el 4 de julio del 2018 se hizo un ensayo de concepto de esta nueva red, en colaboración con Entel, Ericsson y la Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, como se muestra en la figura 33. En ella, se llegaron a transferencias de datos de 24.7 Gbps, lo más rápido alcanzado en Latinoamérica hasta ese momento en pruebas 5G.

Dicho experimento se llevó a cabo en la banda de los 28 GHz, y pese a tratarse principalmente del envío de datos en un ambiente muy controlado, combinó tecnologías como MIMO masivo y Beamforming para lograr dicho resultado [60].



Figura 33: Experimento 5G realizado en la FCFM

7.1.2. Prueba 2: Ecografía a distancia por Entel

El pasado 18 de junio del 2019, fue llevada a cabo la primera ecografía a distancia utilizando una red de pruebas 5G en Chile. Dicha actividad se llevó a cabo en la comuna de La Granja, en el CESFAM Esteban Gumucio, utilizando la banda de los 28 GHz, en donde un doctor a través de un control inalámbrico dirigió los movimientos del ecógrafo para efectuar dicho examen desde otro lugar en tiempo real.

La iniciativa fue hecha por Entel, en colaboración a los proveedores de hardware 5G Ericsson y Qualcomm para efectuar dichas pruebas y abre las puertas para en un futuro lograr introducir la telemedicina como una alternativa para zonas rurales o de difícil acceso [61].



Figura 34: Ecografía a distancia utilizando tecnología 5G

7.1.3. Prueba 3: Control brazo robótico

En otras pruebas 5G realizadas dentro del país, se llevó a cabo el 31 de julio del 2019 una prueba de control a distancia de maquinaria industrial, impulsada por la empresa ABB en alianza con Ericsson y Entel, aprovechando el periodo de permisos experimentales entregado por Subtel para llevar a cabo pruebas en esta nueva tecnología.

De esta forma, se logró mover desde la localidad de Casa Piedra y utilizando tecnología 5G, un motor ubicado en el ABB University, en Ñuñoa, el cual fue



Figura 35: Prueba 5G con brazo robótico

comandado a distancia, para posteriormente activar un brazo robótico localizado en una sede de Inacap en Santiago Sur, y en la cual se alcanzó una latencia de tan sólo 8 ms [62].

7.1.4. Prueba 4: Paradero de buses por WOM

El pasado 11 de mayo del 2019 se pusieron en funcionamiento 5 paraderos de buses con tecnología 5G instalados por WOM, proveyendo de internet Wifi a los usuarios y permitiendo hasta 30 dispositivos en simultáneo, desplegando lo que sería la primera red 5G NSA experimental funcional operativa en Chile, pese a que se encuentra en una banda de pruebas.

De esta forma, y gracias a tecnología proporcionada por Huawei, la empresa ha desplegado a la fecha 7 antenas utilizando frecuencias en banda C para proporcionar internet en paraderos de buses que contemplan la zona centro de la capital, como se muestra en la Figura 29. Entre estos paraderos se encuentran:

- Paradero Moneda (ET PA215)
- Paradero Plaza Italia (PA 383)
- Paradero Santa Lucia (PA 168)
- Paradero Los Héroes (PA 337)
- Paradero San Alberto Hurtado (PI 340)

Pese a que aún no es posible conectarse directamente a la red 5G con un dispositivo smartphone compatible, dado que no existían smartphones disponibles para las bandas usadas en Chile, el módem receptor capta la señal de quinta generación del aire y logra llevarla como señal WIFI a los usuarios, pudiendo brindar velocidades de descarga con una buena estabilidad y a varias personas simultáneamente [63].



Figura 36: Paradero de bus con antenas 5G

Estas pruebas fueron realizadas utilizando la frecuencia de los 3.6 GHz para los hotspots, y la banda de 700 MHz para zonas de mayor cobertura, las que pudieron ser implementadas utilizando parte de la infraestructura de 4G LTE, utilizando el Core EPC adaptado para esta frecuencia. El esquema del montaje instalado es el que se muestra en la Figura 37:

Initial Architecture: Non-Standalone (NSA)

3GPP NSA / "LTE Assisted" Option 3 / 3A

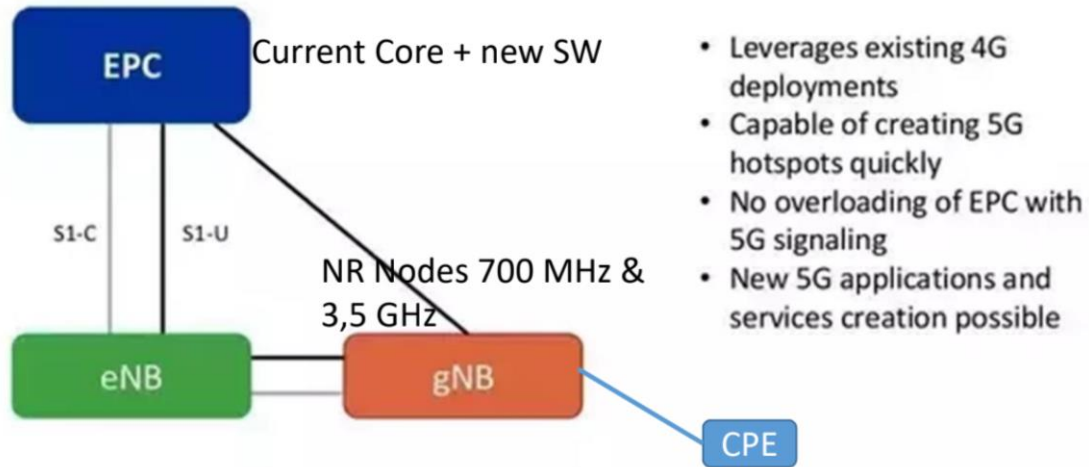


Figura 37: Arquitectura inicial de WOM para implementar 5G NSA

Uno de los grandes inconvenientes que posee actualmente la empresa es el gran monopolio que mantiene la competencia debido a la asignación de banda, encontrándose en plena disputa la banda de los 700 MHz y su reasignación. Esto, debido a que, tras la licitación llamada a finales del 2013, solo se les permitió a 3 operadores postular a dicha banda, sin respetar los límites de 60 MHz por operador, dejando a WOM fuera de la competencia. Es por ello que actualmente la corte suprema le ha pedido a Movistar y Claro devolver 20 MHz de espectro, mientras que a Entel devolver 30 MHz, buscando permitir el ingreso de nuevos competidores por este mercado.

En la actualidad, se ha aplazado la licitación de la banda de los 3.5 GHz nuevamente, que es donde más fuerte se presenta la implementación de la tecnología 5G tanto en Chile como en el mundo, para este primer despliegue de la red NSA, sin entrar aún en ondas milimétricas. Este aplazamiento se debió tanto a la pandemia por coronavirus que ha afectado a la economía del país, el que no quiere poner en riesgo a las empresas de telecomunicación al invertir grandes capitales en tiempos de inestabilidad. Por otro lado, la Subtel se ha negado a licitar las bandas para el 5G hasta que las empresas Entel, Movistar y Claro cumplan con la orden de devolver parte del espectro, lo que a la fecha aún no se ha llevado a cabo [64].

Finalmente, las otras bandas que actualmente son ocupadas por los proveedores de telefonía para brindar sus servicios de 2G, 3G y 4G son las que se muestran en la Figura 38 a continuación [65]:

¿Cuáles son las tecnologías presentes en Chile?

Bandas de Frecuencia

Bandas (MHz) / Tecnología	700 MHz	850 MHz	900 MHz	1700 / 2100 MHz	1900 MHz	2600 MHz
2G	-	Claro Movistar	Entel	-	Claro Movistar Entel	-
3G	-	Claro Movistar	Entel	WOM VTR	Claro Movistar Entel	-
4G	Claro Movistar Entel	-	-	WOM VTR	-	Claro Movistar Entel

Figura 38: Soporte de Bandas proporcionado en Chile

7.2. Antenas 5G utilizadas:

Las antenas que se han utilizado para llevar a cabo esta red de prueba en paradero de buses con el modelo AAU5613 proporcionadas por Huawei, las que incorporan MIMO masivo en 5G New Radio, junto a TDD para redes LTE y que se muestra en la Figura 39:

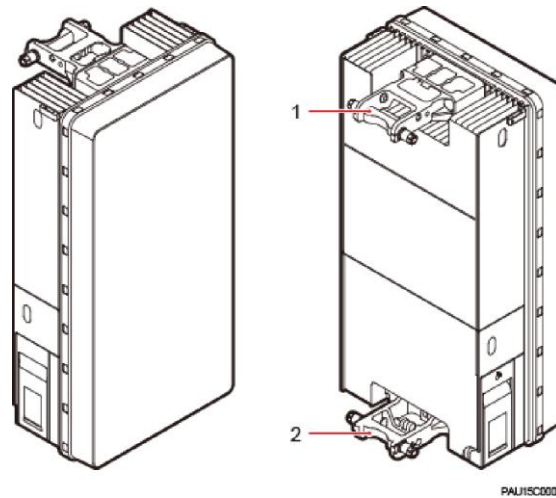


Figura 39: Imagen antena AAU5613 de Huawei

Entre sus características, destacan [66]:

- Canales múltiples: Esta antena soporta antenas MIMO de 64T64R (64 transmisores y 64 receptores), mejorando la calidad de la conexión y la tasa de transmisión de datos, permitiendo una capacidad de cobertura 3D gracias al Beamforming.
- Gran ancho de banda: La antena AAU5613 soporta un ancho de banda de hasta 200 MHz y puede trabajar en la banda C sin problemas. Por otro lado, soporta tanto NR

para 5G, como LTE para 4G, pudiendo adaptarse su ancho de banda y alcanzando una velocidad máxima de 25 Gbits/seg por un puerto, y 10 Gbits/seg por el otro, conectado por fibra óptica a una distancia máxima de 10 Km y 20 km respectivamente entre la antena y la unidad de banda base (BBU).

- Gran poder: este módulo posee un gran poder gracias a su tecnología de amplificación, y todo esto en un pequeño espacio, soportando un máximo de 200 Watts de potencia y un gran alcance.
- Pequeño tamaño: Tanto en peso como en dimensiones, con solo 40 Kg, esta antena es superior al común de las antenas, facilitando su instalación y reduciendo sus requisitos.
- Portadoras soportadas: Para la banda comprendida entre 3.5 – 3.7 GHz, esta antena es capaz de soportar 2 portadoras para NR, mientras que para LTE TDD, puede soportar hasta 6. Por otro lado, utilizando la antena para modo híbrido, es capaz de soportar 1 portadora en NR y 3 en LTE TDD.

Hay que entender que el Core, ya sea 5GC o EPC no se conecta directamente a la antena, sino que lo hace a través de la BBU, el que compone un eNB junto con una unidad de radio remota, o RRU (que procesa señales de radio entrantes y salientes), y que cumple el servicio de procesamiento, así como la operación, mantenimiento y control del sistema, y proporciona puertos S1 y NG para la comunicación entre nodos y núcleos, y puertos de interfaz de radio pública común, CPRI y eCPRI, para la comunicación con módulos de radiofrecuencia (RF). Es esta unidad la que se conecta con la antena AAU, la que a través de radio se comunica con el dispositivo de usuario, tal y como se muestra en la Figura 40:

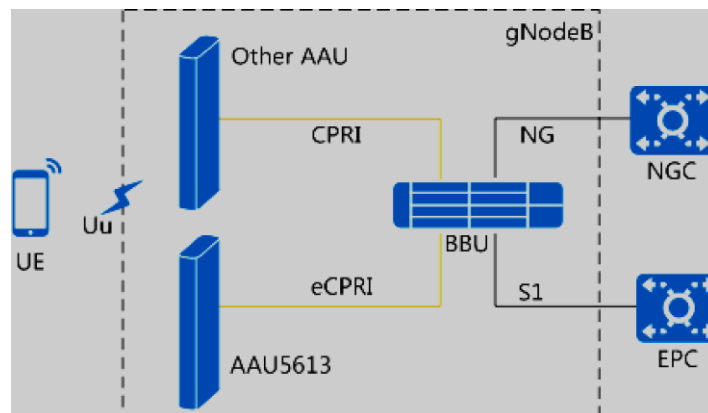


Figura 40: Arquitectura de comunicación de antenas en red NSA

Ahora bien, para la implementación actual de 5G NSA, se utiliza la antena 5G NR junto a un RAN 4G LTE, tal y como se muestra en la Figura 41:



Figura 41: Antena 5G y RAN 4G montados en las instalaciones de WOM

Dicha antena se encuentra actualmente operativa en las instalaciones de WOM en la oficina central, pero se encuentra en una etapa de pruebas en la cual a comienzos del año 2020 se han efectuado las actualizaciones de software necesarias por parte de Huawei para efectuarse las primeras pruebas con dispositivos móviles compatibles, las cuales han arrojado resultados de velocidad por sobre los 200 Mbps, lo que se considera un gran éxito para el futuro despliegue comercial de la red.

7.3. Laboratorio 5G de Corfo

En diciembre del 2019 se dio pie al proyecto entre Corfo, Subtel y Wom para implementar un laboratorio 5G que permita a emprendedores y pymes probar ideas en un ambiente experimental, fomentando el uso de esta nueva tecnología para futuros productos, aplicaciones y servicios en el país en sectores como la minería, pesca, salud, gaming, entre otros. Por lo demás, Huawei también se hizo presente en la iniciativa, facilitando terminales Huawei Mate 30 pro y routers 5G para poder hacer ensayos y testear nuevos proyectos.

8. Casos de uso comercial e industrial del 5G

¿Cuáles son los actuales casos de uso de la red 5G? A decir verdad, el sector de telecomunicaciones aún busca justificar las grandes inversiones en desplegar futuras redes 5G, y el debate se produce en un momento en el que no existen casos suficientes de usos para los usuarios, como para justificar dichas inversiones.

Nokia asegura contar con más de 50 pruebas piloto en curso, mientras que Ericsson trabaja para desarrollar casos de uso junto a más de 35 socios, y Huawei, el gigante asiático, ha creado ya los X Labs donde trabaja con proyectos referentes a 5G.

¿Pero cuáles son algunos ejemplos concretos? Veamos algunos a continuación [67]:

1. Automatización en las industrias: En el Puerto de Hamburgo, se están utilizando las comunicaciones móviles 5G por parte de Nokia para administrar semáforos, recopilar y procesar datos de medición ambiental y utilizar aplicaciones de VR para monitorear infraestructura crítica. MWCcapital está impulsando el desarrollo de pilotos industriales en la construcción, con maquinaria sin conductor en obras civiles, con equipo de especialistas que de forma remota gestionan las operaciones, lo que reducirá los tiempos de ejecución y riesgos laborales.
2. Automóviles Autónomos: Actualmente, tanto Nokia y Ericsson están trabajando en esta materia. Este último lidera el proyecto europeo 5GCar, con más de 8 millones de euros de presupuesto. A su vez, Huawei, Telefónica y Ericsson ya han hecho pruebas para conducir vehículos de forma remota por conexiones inalámbricas, con un conductor por streaming en 4K.
3. Drones y vehículos voladores: Huawei está trabajando en la iniciativa SKY DIGITAL, que se centra en el uso de redes inalámbricas para regular vuelos de naves no tripuladas y autónomas. El 2018, ya mostró una flota de drones capaces de sobrevolar zonas de peligro tras desastres naturales y predecir riesgos de derrumbes. También se presentó un helicóptero capaz de alcanzar 300 mt de altitud y recorrer 41 km sin necesidad de un piloto, como si fuera un taxi volador.
4. Salud: Se busca trasladar la salud desde los hospitales a los hogares. Para esto, iniciativas para el control de salud como los llamados “wearerables” permiten monitorear a tiempo real múltiples signos vitales, información que puede ser de gran utilidad. Por otro lado, se está fomentando la atención virtual médico-paciente y operaciones por control remoto. En España, por ejemplo, la empresa MWCcapital está aplicando teleasistencia en operaciones quirúrgicas en el Hospital Clínic, junto con una ambulancia teleasistida por los médicos a través de cámaras [68].
5. Casco para invidentes: Huawei trabaja actualmente en un casco para ayudar en la calidad de vida de personas no videntes, guiándolas por las calles con un sistema de localización y navegación integrados, en donde la velocidad de recepción de los datos a tiempo real es un punto sumamente crítico.
6. Ferias aumentadas y contenido inmersivo: La empresa Ifema ya ha presentado servicios de ferias aumentadas, un servicio de teleconferencia inmersiva en 3D que

permitirá acceder a todas las sesiones de la feria en tiempo real y diferido, pudiendo incorporarse guías virtuales y una potente experiencia de realidad aumentada.

7. Smart cities: Consiste en una ciudad cuya gestión sea mucho más eficiente a través de sensores, big data e IA. En Talavera de la Reina y en Segovia, España, se llevan a cabo proyectos piloto de ciudades tecnológicas 5G, para demostrar los beneficios que traerá a futuro implementar esta tecnología a gran escala.
8. Comunicaciones móviles: Huawei junto a Vodafone han realizado pruebas de llamadas con 5G entre Barcelona y Madrid, alcanzando los 2 Gbps. Por otro lado, se implementó 5G en un crucero de la empresa Tallink, en donde Ericsson e Intel lograron proveer a más de 2000 pasajeros de wifi sin problemas. Además, Orange y Ericsson probaron las comunicaciones 5G en movimiento, alcanzando 15Gbps caminando a pie, y siendo capaces de reproducir un streaming de 4K a tiempo real dentro de un automóvil en movimiento.
9. Realidad virtual campo Nou: Este es un piloto en marcha que permite transportarse a través de lentes de realidad virtual al campo deportivo, y poder visualizar en 360 grados desde 4 puntos diferentes los partidos a tiempo real. Para su implementación, se utilizó una banda comercial de Telefónica y una red estándar de Ericsson.

8.1. 5G en la minería

A todas luces, pareciera que esta nueva tecnología de telecomunicación marcha de la mano junto a todos los avances que ha habido en los últimos años en la automatización de la industria minera, y tanto en Chile como en otros países del mundo es grande la intención de innovación en este sector.

Es así como la Unión Europea (UE) ha estado financiando el proyecto de Sistemas de Minería Inteligentes y Sostenibles (SIMS), quienes se encargan de probar e implementar nuevas tecnologías en la industria de la minería, y los que en conjunto a Ericsson y la empresa de telecomunicaciones con operaciones en Europa, Telia Company, han estado trabajando en la utilización de esta tecnología en la mina subterránea Kankberg de Boliden, empresa sueca minera especializada en cobre, zinc, plomo, oro y plata [69].

Una de las grandes ventajas que aporta la red 5G tiene que ver con la seguridad en la mina, la cual es capaz de funcionar incluso si se llegase a interrumpir las comunicaciones con el mundo exterior, asegurando una comunicación confiable [70]. Por otro lado, la

embargo, presenta un gran problema de cobertura debido a que no todos los hogares pueden acceder a este servicio, ya que depende de que se haya o no implementado la F.O en el lugar, lo que es aún más improbable en lugares rurales, con lo que se baraja el 5G como una mejor opción para todos.

Es así como Verizon actualmente ofrece un servicio de 5G NSA en casa, el que por cierto ya está disponible para varias ciudades de Estados Unidos, como Washington D.C., Atlanta, Detroit, Indianápolis, Chicago, Denver, Minneapolis, Providence y St. Paul. Para esto, utiliza un hardware que se emplea como modem en los hogares, cuyo modelo es Inseego R1000 y posee antenas MIMO 4x4, que se ve en la Figura 43. Con él, el usuario recibe internet vía WIFI, pero con las óptimas velocidades que provee 5G, alcanzando velocidades típicas de 300Mbps y un máximo de hasta 940 Mbps en bajada [72].

Este servicio 5G, llamado **Verizon Ultra Wideband**, utiliza la banda de los 28 GHz, debiendo desplegar múltiples small cells para tener una gran cobertura. Sin embargo, hace pensar que la fibra en un futuro podría ser en gran parte reemplazada [73].

Cabe notar que, al ser una tecnología aún emergente, y estando aún en una primera fase, no ha alcanzado su potencial máximo y no proporciona a tope todas las características que debería emplear una red 5G, sin llegar aún a los 10 o 20 Gbps que debería alcanzar, y sin llegar aún a una muy baja latencia de 1 a 5 ms, pero logrando competir de muy buena forma con los actuales servicios de internet al hogar, incluida la Fibra óptica.



Figura 43: Modem 5G de Verizon 5G

8.3. Smart Village en Corea del Sur

La aldea surcoreana de **Daesong-dong**, una de las pocas zonas desmilitarizadas de la nación, está ubicada casi en la frontera con Corea del Norte, y se ha convertido en uno de los casos más prácticos de “villa inteligente” en el mundo. Y esto, debido a que pese a tener una pequeña población de no más de 200 habitantes, tan solo 46 viviendas, y muy poco acceso a suministros, tienen una de las mejores redes 5G desplegadas en el mundo, gracias a la empresa nacional de telecomunicaciones KT.

Este gran avance forma parte de “Giga Story”, que es un proyecto que busca entregar conectividad de alta velocidad a las aldeas más remotas del país. Es así como, entre los muchos beneficios que han obtenido gracias a esta red, destaca el poseer granjas inteligentes, las cuales pueden controlar a distancia desde sus smartphones, pudiendo utilizar su sistema de riego y monitorear los cultivos desde cualquier parte de la villa, controlando incluso la humedad del suelo. Con esto, pueden ahorrar tiempo en tareas que antes necesitaban hacer personalmente, pudiendo emplearlos ahora en sus familias [74].

También dentro de esta aldea poseen alarmas en caso de emergencia, la que al ser activada revela la posición exacta desde donde fue activada, para poder resolver la emergencia, y toda esta tecnología, junto con realidad aumentada, realidad virtual e inteligencia artificial, entre otros temas relacionados a los alcances del 5G, son enseñado en la única escuela que posee la villa.



Figura 44: Villa inteligente Deasong-dong 5G

Por otro lado, dada la poca conectividad con otras localidades, y que el hospital más cercano se encuentra a 12 km de distancia, el alcalde tiene a su disposición la información vital de los ancianos que viven en el pueblo, pudiendo prevenir algún tipo de accidentes con esta información, junto con ser capaz de verificar el estado de agua en los pozos e incluso la condición del aire en el medio ambiente [75].

8.4. Foro Europeo Let's 5G

El 24 de octubre del 2019 se llevó a cabo el foro “Let's 5G European Forum”, el cual se hizo en Madrid, y contó con la presencia de múltiples expertos en el área de esta nueva tecnología 5G, junto con IA, Big Data y Maching learning, entre otras cosas. Dentro del foro organizado por Vodafone Business, y el cual contó con el auspicio de Cisco y Samsung, entre otros, se tocaron diversos ejemplos de aplicaciones que al día de hoy ya son una realidad [76]:

- En el área de la agricultura, se tiene un proyecto que incluye tractores autónomos, los que son a su vez controlados por drones que los guían a través de mensajes y notificaciones, utilizando sus cámaras de video basadas en IA. De esta forma, se consigue hacer un mapeo completo de la zona trabajada, y se tienen imágenes a tiempo real de los cultivos, las que pueden ser revisadas por granjeros o ingenieros agrónomos para identificar cualquier tipo de problemas, como la detección temprana de plagas, por ejemplo. Con esto, es posible garantizar un crecimiento óptimo de los cultivos y mejorar la producción.
- En el ámbito de la ganadería, se ha creado una completa red de “vacas conectadas”, a las cuales se les ha incorporado un collar con múltiples acelerómetros y sensores con tecnología IoT para monitorizar el estado de salud, posibles enfermedades, patrones de alimentación e información de fertilidad de cada uno de los ejemplares del ganado, a través de datos obtenidos a tiempo real proporcionados por el dispositivo. Con esto, se gana una enorme cantidad de tiempo y control sobre los animales de la granja, aumentando la eficiencia y optimizando el trabajo realizado.
- En lo que respecta a turismo, se ha incorporado una solución que implica el uso de realidad aumentada. Es así como en las Islas Orkney en Reino Unido se ha implementado un tour virtual que permite a los visitantes ver en 16 puntos históricos reconstruidos de interés, información añadida gracias a esta tecnología, mediante la conexión a autobuses que hacen de puntos de acceso móvil, en conjunto a la geolocalización de los dispositivos inteligentes. De esta forma se busca que los casi 110 mil turistas que visitan la zona todos los años puedan vivir una nueva experiencia más inmersiva y original en sus recorridos.



Figura 45: Demostración baile sincronizado 5G

- La agencia Flash2Flash hizo una demostración de la ultra baja latencia del 5G en el evento. Para esto, se ideó una coreografía de baile simultánea, en donde uno de los bailarines se encontraba en el lugar, mientras que los otros 3 estaban en otros laboratorios 5G en otras ciudades, demostrando que se era capaz de coordinar a la perfección la música y movimientos, junto a la transmisión de una gran cantidad de datos, en un baile perfectamente sincronizado.

- Finalmente, en lo que respecta a realidad virtual, la empresa Altran, partner del evento, hizo una demostración en vivo de un tour por una de sus fábricas de Puerto Real de Airbus, con dispositivos de no muy alto costo, asegurando que en el futuro será posible tener cada vez mejores prestaciones en terminales más sencillos y baratos. A su vez, gracias a las gafas de Oculus, junto a cámaras de Cisco Meraki de 360 grados, se mostró como es posible que se pudieran visitar tiendas y comercios por parte de los consumidores del futuro utilizando solo la realidad virtual [77].



Figura 46: Demostración tour en vivo de Altran

8.5. Hatch, videojuegos en la nube

Esta empresa de videojuegos fue fundada el 2016 en Finlandia, y se habla de que es el “Netflix o Spotify de los juegos de video”, y que posee más de 100 juegos en la nube a los que se puede acceder a través de streaming desde una aplicación vía web o teléfono móvil, como se ve en la Figura 47. Hatch se encarga de proporcionar una gran base de datos en juegos, los que no deben ser descargados y que se pueden jugar 100% online en base a una buena conexión.

Es por esto que la empresa ha tomado gran fuerza junto a la implementación de 5G en diversos países, haciendo fácil el acceso a toda la amplia gama de juegos, al disponer de una alta velocidad de conexión que, sumada a la baja latencia y a la posibilidad de múltiples conexiones, hacen de un ambiente propicio para los juegos online con multijugadores.

Lo interesante de la aplicación es que, al tener todos los juegos en la nube, evita llenar la memoria de tus dispositivos en juegos, utilizando tecnología MEC que acerca a los videojuegos con el usuario, permitiendo grandes velocidades de respuesta para poder jugar.

Actualmente, Hatch tiene alianzas comerciales con Sprint en EEUU, y con Vodafone en España, y se encuentra disponible en Japón, Corea del Sur, junto a otros países europeos como Reino Unido, Italia, Alemania y Finlandia [78].

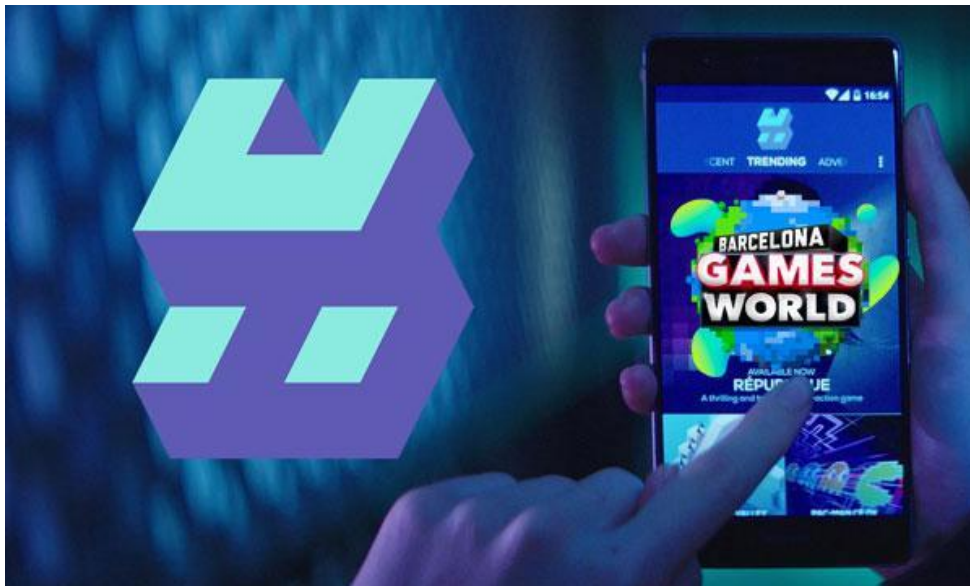


Figura 47: Aplicación “Hatch” de videojuegos en la nube

8.6. MelodyVR – realidad virtual

Esta empresa funciona desde el año 2015 y ofrece una completa experiencia inmersa en el mundo de la música y la realidad virtual. Para esto, se ha desarrollado una aplicación compatible con las gafas de realidad virtual de la consola Oculus GO de Facebook y Samsung gear VR, con las cuales se puede descargar la aplicación y acceder a cientos de contenidos musicales, entre espectáculos, experiencias originales e incluso viajes a través de distintos escenarios dependiendo del género musical que estés escuchando,

Por otro lado, el control que te da la aplicación sobre lo que estás observando es completo, pudiendo desplazarse entre puntos, elegir lo que ves, e incluso ver un concierto siendo parte de la banda. Con esta aplicación, ya no existe el problema de quedarse sin entradas para un concierto, pudiendo acceder incluso a sesiones VIP de diferentes artistas. También es posible acceder esta aplicación a través de tu dispositivo móvil, siendo capaz de explorar los 360 grados del concierto, y desplazarse arrastrando la pantalla con el dedo, o de utilizar lentes de realidad virtual para el teléfono como el Google Cardboard, aunque no se logra el mismo nivel de experiencia que con los lentes de realidad virtual mencionados anteriormente.

Actualmente, MelodyVR se encuentra disponible en Reino Unido, Estados Unidos, Irlanda, Francia, Alemania, Suecia, Canadá, España, Italia, Portugal, Países Bajos, Suiza, Austria, Grecia y Bélgica. Por otro lado, se ha asociado con grandes empresas como Universal Music Group, Sony Music y Warner Music para el desarrollo de contenido exclusivo VR. De esta forma, promete proporcionar una experiencia de otro nivel por los próximos años [79].

Finalmente, cabe notar que en lo que conlleva al 5G, esta empresa ha generado un acuerdo comercial con O2 en Inglaterra, proporcionando el servicio a los suscriptores de su red en el país. De esta forma, se busca potenciar el servicio para poder vivir la experiencia sin retardos y de forma fluida, transmitiendo la gran cantidad de datos que requiere un concierto sin necesidad de descargarlo previamente.



Figura 48: Aplicación VR “Melody” de música inmersa

8.7. Hogar conectado sobre IP

En diciembre del 2019, Google, Amazon, Apple y la alianza Zigbee se reunieron en un grupo de trabajo para discutir lo que será un nuevo estándar de protocolos para la implementación de tecnología que facilite la comunicación y compatibilidad de dispositivos inteligentes, en lo que será el Smart home de un futuro cercano.

Esta tecnología busca unificar dispositivos inteligentes de cualquier marca, aplicaciones móviles y la nube, en un protocolo de internet de código abierto, que conecte los distintos productos del hogar, teniendo en cuenta la confianza, la facilidad en sus usos y, por sobre todo, priorizando la seguridad.



Figura 49: Smart House 5G

Actualmente, se busca compatibilizar los dispositivos del hogar con los servicios de voz y asistencia de usuarios, como lo son Alexa de Amazon, Siri de Apple y el asistente de Google, y se espera tener estos protocolos a finales de año.

Por otro lado, dispositivos en el hogar que se encuentren actualmente funcionando seguirán recibiendo soporte de las grandes empresas mencionadas, sin embargo, todos estos nuevos estándares están siendo pensado para nuevos dispositivos que vendrá a futuro [80].

Ahora bien, algunos de los dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado y que permiten facilitar la vida en el hogar son los siguientes [81]:

- **Asistente de voz en parlante:** Son speakers o parlantes que están directamente conectados con un asistente de voz, ya sea Alexa, Siri o el asistente de Google, dependiendo de la marca. Permiten dar instrucciones, agregar eventos al calendario, cambiar la música y aprender de tus hábitos e instrucciones para ser capaz de predecir a futuro. Una excelente opción de asistente en el hogar.
- **Pantalla inteligente:** Similar al parlante, la pantalla te permite dar directamente las instrucciones a tu hogar, y hay distintos modelos para las distintas marcas. El problema es que los dispositivos de distintas marcas no son compatibles entre ellos, y por lo mismo se requieren de estos protocolos a futuro para su comunicación.

- **Enrutadores de malla:** Estos permiten conectar múltiples dispositivos inteligentes en todo el hogar, garantizando distribuir uniformemente las señales para que no se pierda la comunicación en ningún momento, y al igual que el resto de los dispositivos, funciona óptimamente para productos de su misma marca.
- **Enchufes inteligentes:** Dispositivos que pueden programarse para que se enciendan o se apaguen en determinados horarios o dadas determinadas condiciones.
- **Ampolletas inteligentes:** Funcionan de una forma similar que los enchufes, entregando el control sobre el encendido y el apagado.
- **Termostato inteligente:** Monitorea la temperatura de la habitación y permite regular a través de comandos de voz y asistentes, conectado directamente al aire acondicionado.
- **Cámaras de seguridad wifi:** Aquí, la competencia es variada, existiendo desde alternativas muy económicas a sofisticados sistemas de seguridad. En ambos casos, estos dispositivos inteligentes a través de sus conexiones permiten detectar movimientos, activar alarmas y alertas y una gran autonomía en sus baterías.
- **Sistemas de seguridad:** Más allá de las cámaras, existen complejos sistemas de seguridad que implementan múltiples sensores para así proteger el hogar, ya sea de movimiento, de apertura o cierre y sonido, entre otros.
- **Video timbre:** Este permite monitorear a tiempo real quién se encuentra fuera del hogar mediante su conexión a internet.
- **Cerradura inteligente:** Como su nombre lo indica, es un dispositivo que se instala en la cerradura para poder dar acceso a personas puntuales que puedan entrar al hogar. Por otro lado, su seguridad es extremadamente alta, haciendo muy improbable ser vulnerado por hackers, lo que es un tema sensible si se trata de la entrada al hogar. Finalmente, al estar sobrepuesto en la chapa de la puerta, no requiere de una compleja instalación, e incluso puede seguirse usando la llave para poder entrar, en conjunto a estos dispositivos.

Como se puede apreciar, son en efecto cada vez más los dispositivos inteligentes que comienzan a utilizarse día a día, y ya que todos requieren de internet y de una alta conectividad para su funcionamiento, la tecnología 5G se vuelve una herramienta útil para soportar la gran carga de dispositivos que irá en aumento en los próximos años. Una tecnología que de seguro pensará en estos dispositivos inteligentes para su futura implementación.

9. Implementación Propuesta para una primera fase en Chile

9.1. Fixed Wireless Access (FWA) en el hogar

Tras la información previa obtenida, se ha revisado el estado del arte de esta tecnología en el mundo y dadas las características de la actual red 5G NSA que tiene la empresa WOM montada, en la cual se tiene ya 8 nodos instalados y con un potencial de crecimiento, se plantea una revolución en el mercado del internet en el domicilio, con un producto tan disruptivo como lo es el “internet móvil hogar 5G”, compitiendo a la FTTH y al servicio ADSL ofrecido por otras empresas del rubro, o complementándose a la nueva FO que será desplegada por este proveedor para la conexión en la última milla con los usuarios, al poder tener costos más bajos que la competencia debido al menor costo de inversión e implementación a nivel de CAPEX y ofreciendo de igual forma un servicio de primera calidad [6].

Se vislumbran múltiples brechas de mercado en donde se puede abordar este nuevo servicio, como lo son:

- Zonas en donde aún no hay cableado de fibra óptica
- Zonas en donde aún no hay cableado de cobre
- Zonas en donde no llega ningún tipo de internet hogar por la inaccesibilidad del terreno o inviabilidad económica
- Edificios en los cuales se desee tener un proveedor de internet diferente al que ofrece el mismo, según la ley de ductos en Chile
- Menores precios debido al menor costo de implementación en comparación a la FO o a cualquier tipo de cableado
- Optar a una ultra baja latencia con 5G SA
- Tener una velocidad más alta y estable que la actualmente ofrecida
- No tener un límite máximo de Gbits para navegar mensualmente
- Posibilidad de tener una demanda de datos ajustable y flexible en eventos de alta o baja concurrencia, por ejemplo (eventos o vacaciones, respectivamente)
- Conectividad de bajo costo para IoT, desplegando los recursos justos y necesarios para este servicio en particular con el futuro 5G SA
- Aprovechamiento de la futura FO WOM, pensando en un despliegue conjunto con 5G a futuro para la conectividad en la última milla

En la actualidad, WOM ofrece un servicio de internet móvil hogar 4G+, el cual ofrece planes de 20, 40, 60, 90 y 120 Gigas mensuales, con la opción de guardar los datos no usados para el siguiente mes. Por otro lado, ofrece igualmente un servicio de internet móvil hogar prepago para quienes no desean acceder a un plan, debiendo solo adquirir el modem para posteriormente recargar datos.

Se debe considerar que otros ISP como lo son Entel y Movistar, por ejemplo, ofrecen de igual forma este tipo de servicios. Sin embargo, estas empresas se encuentran también en el área de telefonía fija, televisión e internet de fibra óptica al hogar. Esto último es de gran importancia, debido a que ya han desplegado en una porción considerable de Santiago las fibras, no siendo tan fácil sumarse al 5G al menos en lo que de internet móvil hogar se trata, puesto que generarían competencia entre sus propios servicios. Es así como WOM logra una enorme ventaja al sumarse a esta tendencia, al estar recién incursionando en FO, pudiendo desplegarla pensando ya en una futura implementación híbrida con 5G, teniendo las cartas a su favor.

Es así como a futuro, la implementación de estas redes 5G no solo serán completamente inalámbricas como se pensaba en su momento, pese a que en muchos casos esta podría ser utilizada de esta forma para dar cobertura a lugares en donde el cableado no alcanza a llegar, sino que se hará en colaboración con la fibra óptica y las redes PON de siguiente generación (NG-PON2), que permiten alta tasas de transmisión de datos (hasta 40 Gpbs de subida y de bajada), para así conectar de esta forma las Smart cells a través de cableado que permita maximizar la velocidad y volumen de datos y que así los gnodeB puedan maximizar la transmisión de estos.

9.2. Servicio de Cloud Gaming en Chile

La industria de los videojuegos crece a pasos gigantes año tras año. Según estudios, en el mundo existen más de 2.500 millones de gamers, generando USD 152.100 millones este año, con un crecimiento del 9.6%, y en América Latina un crecimiento mayor del 11.1% por año, generando casi USD 5.600 millones el 2019, y pese a que el mayor crecimiento se lo han llevado las consolas de videojuegos con un 13.4% en el año, le siguen de cerca la industria de los juegos móviles, con un crecimiento de 10.2% en el año y acaparando el 45% del mercado global de juegos, generando USD 68.500 millones [82].

Es este mercado el que ofrece una gran oportunidad en conjunto con la tecnología 5G, debido a que son cada vez más los usuarios que requieren de altas velocidades de transmisión de datos, junto con bajas latencias, para poder tener un mejor desempeño a la hora de jugar videojuegos en línea a través de sus dispositivos móviles, características fundamentales que ofrece esta nueva tecnología.

Es por ello que se plantea como una solución a implementar en Chile para fomentar el uso de esta tecnología el desarrollo de plataformas de videojuegos en línea que permitan acercar a los usuarios a las bondades del 5G, utilizando tecnología MEC para así poder ahorrar enormemente el espacio utilizado por los videojuegos, y mejorar la latencia para una experiencia más completa a la hora de jugar.

Por suerte, existen soluciones ya existentes que ofrecen esta modalidad de videojuegos, y es el caso de Hatch, empresa de streaming videojuegos en la nube, que ofrece actualmente una amplia gama de videojuegos compatibles con 5G, y que ya ha sido mencionado en este trabajo. Esta empresa actualmente se encuentra principalmente en Japón, Europa y Estados Unidos, pero con grandes chances de ampliarse a nuevos territorios como el Latinoamericano.

Es así como esta empresa se ha asociado con compañías de teléfonos como Samsung, en donde viene la aplicación preinstalada en sus dispositivos 5G en ciertas zonas, o empresas proveedoras de servicios de internet como Sprint y Vodafone, ofreciendo este servicio de pago a sus usuarios, de forma gratuita por un tiempo limitado, y así poder hacer el enganche a una suscripción mensual. En Sprint, por ejemplo, se entrega una suscripción gratuita de 90 días para utilizar la aplicación, solo en dispositivos compatibles con 5G, para luego pagar USD 7.99 por mes al terminar la suscripción, mientras que en Vodafone los dispositivos compatibles pueden descargar la app directamente desde la aplicación MyVodafone y tener 3 meses gratis, para luego terminar pagando una suscripción mensual de EUR 6.99, siendo un plan similar al de la empresa americana. También puede ser descargado en aplicaciones como Google Play Store o Samsung Galaxy Store, pero solo en algunos países, en modalidad gratuita (limitada y con publicidad) o premium, ofreciendo diferentes beneficios (Figura 50) [78]:

Gratis	Premium
20 juegos seleccionados ✓	✓ 20 juegos seleccionados
Tablas de posiciones y competencias ✓	✓ Tablas de posiciones y competencias
Jugar en el móvil ✓	✓ Jugar en el móvil
Más de 100 juegos completos premium ✗	✓ Más de 100 juegos completos premium
Jugar en el televisor ✗	✓ Jugar en el televisor
Hatch Infantil ✗	✓ Hatch Infantil
Originales y exclusivos Hatch ✗	✓ Originales y exclusivos Hatch
Sin publicidad ✗	✓ Sin publicidad

Figura 50: Servicio gratuito y de pago ofrecido por Hatch

Como referencia, Hatch consumen en promedio 2.5 Mbps, tan solo la mitad de los datos necesarios para la reproducción de videos en HD, pero aun así un alto consumo para una red de datos limitados como en una conexión 4G, por ejemplo. Es por ello que es necesario

la utilización de una red 5G con datos ilimitados o altos, o en su defecto con una conexión WIFI de alta velocidad para tener un buen desempeño.

Por otro lado, existen otras plataformas de streaming de videojuegos que se masificaron fuertemente este 2020, pero que no están tan enfocadas en juegos móviles como la aplicación ya mencionada, centrándose mayormente en juegos de PC y consolas. Estas son: Google Stadia, Project XCloud y Nvidia Gforce Now.

Para Google Stadia, se habla de juegos en calidad 4K HDR a 60 fps, requiriendo conexiones de hasta 35 Mbps para un perfecto desempeño, y con un modelo de negocios similar al anterior, con opciones gratuitas y pagadas como se muestra en la siguiente Figura 51:

	STADIA PRO	STADIA BASE (2020)
PRECIO	11,99 euros	Gratis
RESOLUCIÓN	Hasta 4K a 60 FPS	Hasta 1.080p
JUEGOS INCLUIDOS	Todos menos los más recientes	Solo unos cuantos
OPCIÓN A COMPRA	Sí	Sí

Figura 51: Servicios gratuito y de pago ofrecido por Google Stadia

Y pese a que el 5G permitirá un gran desempeño para este tipo de servicios, este tipo de servicios va dirigido mayormente a una comunidad gamer que no requiere de movilidad, y por ende que con conexiones de alta calidad en FTTH están más que satisfechos. Mismo caso ocurre con las plataformas de Project xCloud, de Microsoft, o GeForce Now, de Nvidia, con un enfoque principalmente para computadores gamers de alta gama, por sobre dispositivos móviles.

Es por esto que se plantea traer este tipo de servicios al país, principalmente enfocado a juegos móviles que requieran de una buena y estable conexión 5G para jugarse, como una oportunidad a atraer nuevos clientes a la red del proveedor de servicios de internet, abarcando un nicho de mercado que promete muchos nuevos suscriptores en el futuro gracias a esta nueva tecnología y experiencia de usuario, con precios cercanos a los de mercado y tiempo de prueba limitados para atraer nuevos suscriptores a estos servicios.

9.3. Telemedicina y Covid19

No es posible dejar de lado la contingencia actual que nos rodea, y ya sea que se requiera para estos tiempos de coronavirus, o para futuras pandemias o posibles enfermedades que aparezcan en la humanidad, la necesidad de una medicina 24/7, al alcance de todos y que utilice los recursos que se tienen actualmente a la mano se hace de vital importancia para la sociedad.

Es por ello que la medicina a distancia ha tomado tanta fuerza, sobre todo el último tiempo, dando pie a nuevas aplicaciones y servicios que han permitido acercar a los mejores médicos con pacientes a miles de kilómetros de distancia, pero casi a tiempo real gracias a los avances en transmisión y recepción de datos, y es aquí donde la tecnología 5G cumple un rol de vital importancia para el futuro.

Por lo mismo, se propone como implementación el aprovechar los recursos que provee la tecnología de quinta generación como forma de conectar la medicina con los pacientes de una forma completamente remota, a través de la telemedicina e incluso lo que muchos llaman “hospitales inteligentes”, teniendo grandes flujos de información de los pacientes al alcance inmediato de la mano gracias al acercamiento de la nube a estas entidades, junto a millones de datos recolectados por dispositivos “weareables” que prontamente serán de gran utilidad para obtener información relevante en la ayuda oportuna de los pacientes, y todo esto mediante atención a distancia con calidad de alta definición, y entre múltiples usuarios a la vez, requiriendo de una gran cantidad de banda ancha disponible para llevar a cabo esta gran conectividad.

Ya se ha visto como un simple virus nos ha confinado a permanecer en los domicilios, cambiando nuestra forma de vivir, de comunicarnos y de hacer nuestras actividades cotidianas, pero pese a que en gran parte la tecnología actual ha sido suficiente para poderse adaptar a estos cambios, aún queda una gran brecha en el ámbito medicinal, incluido la desconfianza o duda de confiar en un médico a la distancia. Es por ello que la correcta implementación de servicios de telemedicina y conectividad genera una gran brecha de negocios que puede no solo ser una oportunidad económica, sino que será de gran bien social para la población, los que en su mayoría pudieran ser diagnosticados a través de los datos obtenidos por dispositivos y sensores, y en colaboración con consultas en línea, sin necesidad de salir del hogar y no saturando las redes de salud, aun cuando se recuperen las condiciones normales del diario vivir sin una pandemia latente. Un servicio que seguramente podrá salvar vidas.

[83]

10. Conclusiones

La llegada del 5G ya es un hecho a nivel mundial, y día a día serán cada vez más los países y empresas que se sumen a esta nueva revolución. Está claro que quienes logren estar a la vanguardia tendrán mayores ventajas comerciales y beneficios económicos sobre la competencia, y por tanto se debe buscar ser pionero no solo en pruebas y pilotos, sino en una red comercial implementada.

Es por ello que en este trabajo no solo se reunió la información de las generaciones pasadas hasta llegar al actual 5G, sino que se hizo un análisis del contexto actual de esta tecnología, y de un gran número de implementaciones que se han llevado a cabo utilizando en esta primera fase la red 5G Non Stand Alone, buscando las potenciales opciones que pudieran ser implementadas en Chile.

Considerando a corto plazo la asignación por parte de Subtel en Chile de las bandas de 5G, mencionadas previamente en este trabajo, se logran extraer 2 grandes opciones que pudieran permitir a las empresas de telecomunicaciones explotar los beneficios de esta nueva tecnología móvil en servicios o soluciones que pudieran denostar un liderazgo, versus lo que pueda ofrecer la competencia. La primera opción es la implementación de un servicio FWA de internet al hogar que sirva para dar acceso a zonas a las cuales no llega una buena conectividad, o que simplemente no llega el internet por cable o fibra, y que deseen un servicio de alta calidad y performance, siendo esta alternativa la más idónea dado que al ser utilizada una red 5G para esta función, los costos de implementación se reducen enormemente en comparación a la fibra óptica al hogar, por ejemplo, permitiendo llegar al nicho de mercado que actualmente solo utiliza redes móviles dada la poca factibilidad de internet hogar. Un servicio como este a todas luces puede permitirle a la empresa estar a la vanguardia en internet móvil al hogar de alta velocidad y confianza.

Por otro lado, la segunda opción que se vislumbra en esta nueva tecnología está dada por una alianza estratégica con alguna de las empresas de videojuegos streaming que actualmente están avanzando a paso veloz en la industria, siendo la más idónea por lo que ha analizado en este trabajo la empresa Hatch, que se enfoca principalmente en ofrecer un servicio para dispositivos móviles utilizando la red 5G, a diferencia de las otras empresas de gaming streaming que se enfocan principalmente en juegos para computadoras con una muy alta resolución y requisitos, los que en gran parte de los casos ya son cubiertos por redes de fibra óptica o una buena conexión WIFI fija. Es por ello que un servicio como este, implementado en algún plan de datos 5G podría atraer una gran cantidad de nuevos clientes que utilizan sus dispositivos móviles como una forma de recreación y entretenimiento a través de videojuegos de alta definición y consumo de datos, y que actualmente ven limitadas sus posibilidades a juegos de baja resolución o a llegar a sus hogares para utilizar su red WIFI en el hogar.

De esta forma, queda claro que los servicios vistos son solo un pequeño grupo de opciones en una primera fase de despliegue de redes 5G en Chile, en un mar de posibilidades que vienen de la mano junto a esta nueva tecnología, y que como se ha analizado en el presente trabajo, abre paso a innovaciones en la industria, la minería, el transporte, los videojuegos, turismo, salud y una inmensa variedad de nuevas ideas que pudieran ser implementados para consolidarse como líderes en la implementación de esta nueva red de quinta generación, considerando que nos encontramos aún en una primera fase en la cual la latencia y el network slicing en una red virtual, y que son parte de la transformación tecnológica del 5G, no están aún contemplados, limitando los actuales servicios que pudieran ofrecerse y dejando un gran espacio a futuras implementaciones que podrán efectuarse cuando tengamos una red corriendo al 100% tanto en nodos como en núcleos de quinta generación.

Finalmente, se espera que algunas de estas ideas sean contempladas a la hora de analizar opciones de servicios que se puedan implementar junto a lo que sería el despliegue comercial de la red 5G en primera y segunda fase, aprovechando los beneficios que van más allá de la alta velocidad y disponibilidad de la red, como la baja latencia y la alta densidad de dispositivos que soporta para una futura llegada del IoT masivo, realidad virtual, las Smart cities y lo que será un mundo completamente interconectado.

11. Trabajos futuros

Al mirar las nuevas redes 5G, y tras el recorrido de este trabajo, se debe ser capaz de distinguir 2 claras fases en el desarrollo e implementación de esta tecnología: 5G NSA y SA.

El presente trabajo se ha construido en base a una implementación de red 5G NSA y las ventajas que estas pudieran otorgar a un proveedor de servicios, tanto en la implementación inmediata que utilice parte de la red 4G LTE ya implementada o la reutilización a de estos nuevos nodos 5G para la implementación futura de una red 5G SA. De todas formas, los beneficios son claros: la primera mejorará principalmente el ancho de banda, el volumen y la transmisión de datos, pero no se enfoca en la ultra baja latencia como lo hace la red SA, la que implica una gran mejora a nivel de núcleo, actualizando los EPS a 5CN y con ello abriendo el camino no solo a mejorar la latencia sino a redes virtuales que aumenten la eficiencia y permitan la conducción autónoma, realidad virtual en videojuegos y todo un mundo de posibilidades que vendrán con este nuevo despliegue, tal y como se muestra en la Figura 52:

Service Experience Requirement Evolution

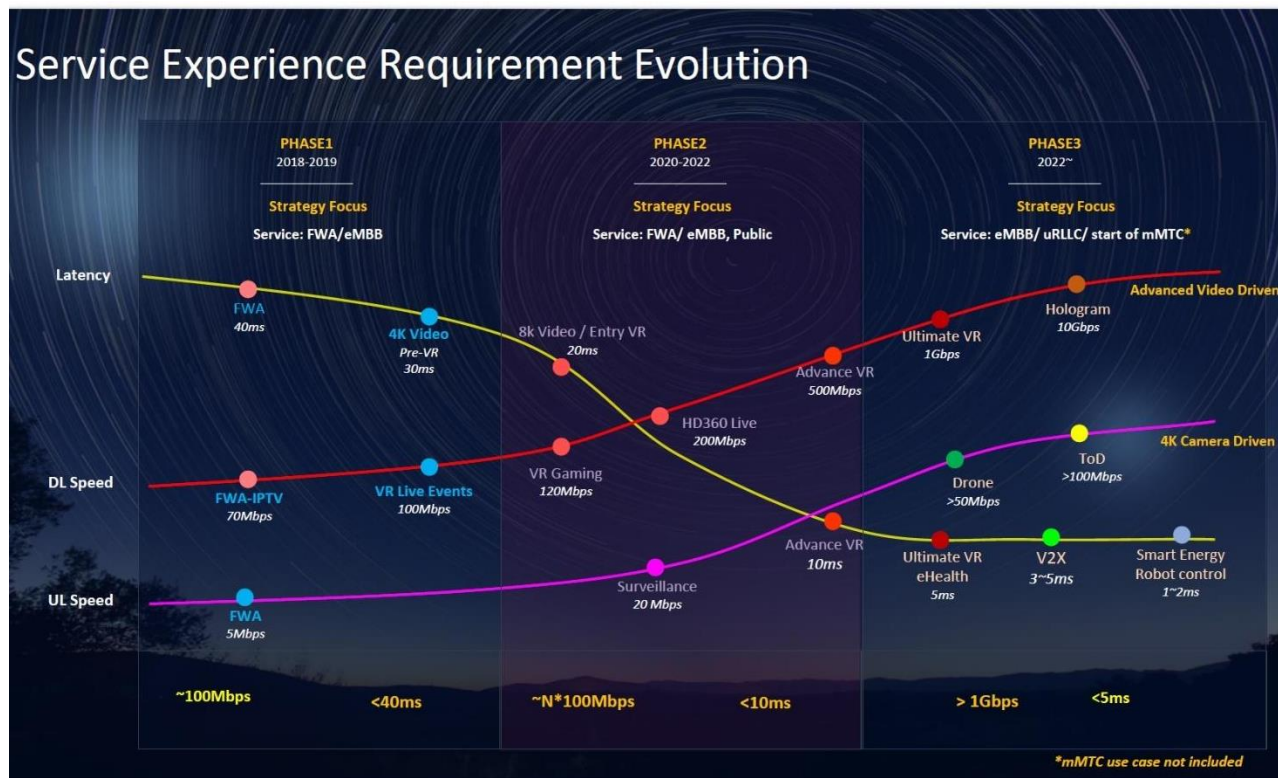


Figura 52: Evolución de los servicios dada la mejora en las capacidades técnicas

Es así como se entiende que con el pasar de los años y la mejora de esta tecnología, no solo la velocidad de subida y de bajada irán en aumento, sino que disminuirá la latencia a tales puntos que serán posibles nuevos servicios que con la tecnología actual y la nueva tecnología 5G NSA aún no serán posibles. Es por esto que queda como trabajo a futuro todos los posibles servicios que se puedan implementar utilizando una red 5G SA con todas sus capacidades y beneficios operativos al 100%, como la comunicación masiva entre máquinas (mMTC) y servicios de IoT utilizando Network Slicing.

Bibliografía

- [1] Ecured.cu. (2019). "Telefonía Móvil 1G, 2G, 3G y 4G"
- [2] Adslzone.net. (2018). "5G vs 4G LTE-Advanced Pro, diferencias entre conexiones móviles de máxima velocidad".
- [3] López, G. (2011). "Predistorsión digital de un sistema de comunicaciones OFDM: estudio mediante simulación", capítulo 2. Universidad de Sevilla, España.
- [4] Prof. Valenzuela, P. (2019). "Clase 4GLTE", curso Sistemas de Acceso Móvil inalámbricos. Universidad de Chile, Santiago.
- [5] 3GPP. (2019). "Release 15 Technical Specification Group Services and System Aspects".
- [6] GSMA. (2019). "5G Implementation Guidelines".
- [7] Campos, J. (2017). "Understanding the 5G NR Physical Layer. Keysight Technologies".
- [8] Xataka.com. (2019). "¿Qué significa que existan dos tipos de 5G? Diferencias y compatibilidades entre 5G NSA y 5G SA".
- [9] Metaswitch.com. (2019). "What is the 5G Access and Mobility Management Function (AMF)?".
- [10] 3GPP. (2019). "Release 16 Description; Summary of Rel-16 Work Items".
- [11] Teral, S. (2019). "5G best choice architecture". IHS Markit Technology.
- [12] Subtel. (2019). "No aplica en Chile (Hispasat), consulta".
- [13] GSMA. (2019). "Espectro 5G Posición de política pública de la GSMA".
- [14] Digitalpolicylaw.com. (2019). "Cmr-19 culmina con más acuerdos y espectro para todos los servicios".
- [15] Telesemana.com. (2019). "Cmr-19 lo que nos deja la mayor reunión sobre espectro".
- [16] iie.fing.edu.uy. (2017). "Espectro Electromagnético".
- [17] Mycomputer.com. (2015). "¿Qué es la tecnología MIMO? Os lo explicamos".
- [18] Nokia. (2017). "AirScale Massive MIMO Adaptive Antenas"
- [19] Mahmood, N. & Gatnau, M. & Berardinelli, G. & Mogensen, P. "Full Duplex Communications in 5G Small Cells". Aalborg University, Denmark.
- [20] Liu, Y. & Pan, G. & Zhang, H. & Song, M. (2016). "On the Capacity Comparison Between MIMO-NOMA and MIMO-OMA". IEEE.

- [21] S. M. Riazul Islam, Ming Zeng, Octavia A. Dobre. (2017). "NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency". IEEE
- [22] lanner-america.com. (2019). "Cómo 5G y MEC Son la Clave para el Contenido Inmersivo en Productos de Realidad Virtual y Aumentada.
- [23] Telesemana.com. (2020). "Claro prueba DSS en Brasil con el objetivo de racionalizar inversiones y optimizar cobertura.
- [24] GSMA. (2020). "The Mobile Economy".
- [25] France24.com. (2019). "Corea del Sur inauguró la primera red de telefonía 5G en el mundo".
- [26] Networkworld.es. (2020). "El 5G también amenazado por covid19".
- [27] Es.digitaltrends.com. (2019). "El despliegue de la red 5G de Verizon: todo lo que necesitas saber".
- [28] Es.sprint.com. (2020). "True Mobile 5G de Sprint".
- [29] Es.t-mobile.com. (2020). "La Red 5G más grande del país".
- [30] Fayerwayer.com. (2020). "Nokia velocidad record 5G".
- [31] Swisscom.ch. (2020). "5G for Switzerland".
- [32] Sunrise.ch. (2019). "Flatrate-Gaming for 5G Smartphones".
- [33] Ecoportal.net. (2020). "Suiza paraliza 5G".
- [34] Edition.cnn.com. (2017). "China just launched the world's largest 5G network".
- [35] Jovenclub.cu. (2020). "China mantiene su liderazgo mundial en la red 5G".
- [36] Commsupdate.com. (2019). "MIIT opens consultation on mmWave band for 5G".
- [37] Lanacion.com.ar. (2020). "China Mobile y Huawei instalan antenas 5G en el monte Everest".
- [38] Fiercewireless.com. (2019). "Huawei and China telecom complete 5G sa electricity slice test".
- [39] O2.co.uk. (2020). "Our mobile network for business".
- [40] Elpais.com. (2020). "Reino Unido permitirá a Huawei operar en su red 5G a pesar de la presión de EE UU por bloquear la firma china".
- [41] America-retail.com. (2019). "España: Telefónica lanza O2, su primera red 5G en el mundo".
- [42] Ee.co.uk. (2019). "5G coverage where it matters most".
- [43] Eluniverso.com. (2020). "Queman antenas 5G Reino Unido cree que propagan coronavirus".

- [44] On5g.es. (2020). "Europa retrasa lanzamiento generalizado redes 5G debido covid19".
- [45] Xatakamovil.com. (2020). "Vodafone comenzará a desplegar 5G SA en entornos empresariales y ya ha realizado la primera llamada 5G Stand-Along".
- [46] Xatakamovil.com. "Vodafone estrena su red 5G en 15 ciudades y sin coste adicional"
- [47] Ladiaria.com.uy. (2019). "Uruguay es el tercer país en el mundo en ofrecer tecnología 5G".
- [48] Brechacero.com. (2020). "Uruguay avanza en su proyecto de receta digital nacional".
- [49] Efe.com. (2020). "NTT Docomo lanza el primer servicio de telefonía 5G de Japón".
- [50] About.rogers.com. (2020). "Rogers starts rollout of Canada's first 5G network and joins global 5G forum".
- [51] Newsroom.a1.net. (2020). "A1 inicia la red 5G más grande de Austria".
- [52] Truemoveh.truecorp.co.th. (2020). "true move H 5G".
- [53] Ais.co.th. (2020). "AIS 5G the future is yours".
- [54] Proximus.be. (2020). "Mobile subscriptions".
- [55] Subtel. (2020). "Ficha_Tecnica_consulta_ciudadana_5G".
- [56] TDLC. (2019). "TDLc resuelve consulta presentada por Subtel sobre la modificación del límite máximo del espectro radioeléctrico que puede tener en uso cada operador de servicio público de telefonía móvil establecido".
- [57] Camara.cl. & Subtel. (2018). "Presentación H. Cámara Diputados: Congelamiento Banda 3.5 GHz + Caso Conadecus".
- [58] Portal.nextnews.cl. (2018). "Telefónica va al TDLC luego que Subtel frenara congelamiento de banda".
- [59] Df.cl. (2020). "Comienza cuenta regresiva para el 5G Subtel fija el 19 de octubre".
- [60] Elmostrador.cl. (2018). "Entel y Ericsson realizaron demostración de 5g con record de transferencia de datos".
- [61] Informacioncorporativa.entel.cl. (2019). "Gobierno y Entel realizan primera ecografía a distancia sobre red 5g en Chile".
- [62] Trendtic.cl. (2019). "Se realizan primeras pruebas de 5g en Chile".
- [63] Gob.cl. (2019). "Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones presentó inédito servicio de internet de alta velocidad gratuito en paraderos de RED en el centro".
- [64] Pisapapeles.net. (2020). "Conflicto por límites de espectro y consecuencias del covid-19 retrasan licitación de 5G en Chile".

- [65] Claro Chile.cl. (2018). "Soporte de bandas".
- [66] Huawei. (2018). "AAU5613 Product Description".
- [67] Evoca. (2018). "Cuadernos de tecnología Evoca: El impacto del 5G".
- [68] 5g Barcelona. (2019). "Casos de uso y proyectos piloto".
- [69] Outletminero.org. (2019). "Industria minera se automatiza gracias a la tecnología 5G".
- [70] Thenewnow.es. (2019). "Red 5G subterránea en una mina".
- [71] Tecnologiaminera.com. (2019). "Podría ser la 5G la clave para desbloquear la autonomía en las minas profundas".
- [72] Es.verizonwireless.com. (2020). "Preguntas frecuentes sobre el servicio de Internet 5G Home de Verizon".
- [73] Es.digitaltrends.com. (2019). "El despliegue de la red 5G de Verizon: todo lo que necesitas saber".
- [74] Perfil.com. (2019). "Una aislada aldea de Corea del Sur es el primer lugar que tecnología 5G".
- [75] Eltelegrafo.com.ec. (2019). "Daesong dong pueblo intercoreano red 5G".
- [76] Tecnonews.info (2019). "Cisco lleva la tecnología 5G a las zonas rurales".
- [77] Lachambre.es. (2019). "Altran presenta en Madrid una experiencia pionera que utiliza 5G para streaming de realidad virtual".
- [78] Playhatch.com. (2019). "Preguntas frecuentes".
- [79] Melodyvr.com. (2019). "How can we help".
- [80] Connectedhomeip.com. (2020). "Project connected home over ip".
- [81] Xatakamovil.com. (2020). "Sistemas wifi mesh: ventajas y desventajas tienen modelos recomendados".
- [82] Tecno.americaeconomia.com. (2019). "El crecimiento imparable de la industria gamer de América Latina".
- [83] Clustersalud.americaeconomia.com. (2020). "5G y telemedicina: un futuro mejor".
- [84] pisapapeles.net. (2019). "Wom lleva a la Corte Suprema los nuevos límites de espectro fijados por el TDLC".
- [85] telesemana.com (2020). "La Corte Suprema definió topes dinámicos de espectro con pequeños cambios sobre el proyecto inicial".

Anexo A: Límite máximo de ancho de banda en Chile

El pasado 4 de diciembre del 2019, el TDLC dictó su resolución final referente al caso sobre el límite máximo de espectro radioeléctrico disponible por operador de telefonía móvil, el cual era de 60 MHz por operador establecido el 27 de enero del 2009. Este proceso de redefinición del límite máximo comenzó el pasado 19 de octubre del 2018, motivado por nuevas empresas que querían entrar a este mercado y por las nuevas tecnologías implementadas, lo que tras el aporte de antecedentes por múltiples empresas proveedores de servicios de telecomunicaciones dictaminaron los siguientes límites máximos [56]:

1. Banda baja (inferior a 1 GHz): un límite de tenencia de espectro de 35% por operador.
2. Banda media baja (entre 1 y 3 GHz): un límite máximo de 30% por operador.
3. Banda media (entre 3 y 6 GHz): medidas especiales*.
4. Banda media alta (entre 6 y 24 GHz): no fijar límites atendida la ausencia de atribuciones y asignaciones para servicios móviles en las bandas que la componen.
5. Banda alta (superior a 24 GHz): medidas especiales**.

*Las medidas especiales para el punto 3 implica al corto plazo asegurar al menos 2 operadores con espectro contiguo de 80 MHz. Al mediano plazo, que haya al menos 4 operadores con banda contigua de 40 MHz, y a largo plazo que haya un límite máximo por operador de 30%, con 80 MHz contiguos como mínimo.

**Las medidas especiales para el punto 5 implica al corto plazo asegurar al menos 2 operadores con espectro contiguo de 400 MHz. Al mediano plazo, que haya al menos 4 operadores con banda contigua de 400 MHz, y a largo plazo que haya un límite máximo por operador 25%, con 800 MHz contiguos y al menos 4 operadores.

El hecho de que las cotas máximas asignadas hayan sido finalmente porcentuales y no fijas es una clara señal de lo rápido que avanzan las telecomunicaciones en el país, por lo que, ante nuevas licitaciones de bandas, sean cuales fueren, ya existirá una forma de regular cuánto de esta banda puede tener cada proveedor sin necesidad de tener que modificar lo determinado por el TDLC. De esta forma, se vuelve una herramienta fácil de utilizar y respetar.

Por otro lado, la necesidad del aumento del límite máximo de espectro por empresa va muy de la mano con la nueva tecnología 5G, la que de por sí requiere de anchos de bandas sugeridos de al menos 80 a 100 MHz en bandas medias hacia bajas, y al menos 400 MHz para bandas de ondas milimétricas (sobre 24 GHz), según la “posición de políticas públicas de espectro 5G” de la GSMA [13].

Finalmente, se esperaría que con esta nueva resolución referente a los cap de las distintas macrobandas se pudieran sentar las bases para una competencia más justa en torno al despliegue de la futura red 5G. Sin embargo, estos límites solucionan paulatinamente el problema, y no van al conflicto de fondo, que es el oligopolio que mantienen Entel, Claro y Movistar frente a otros competidores.

Es así como, en un simple análisis, es posible ver que los límites de 35% para la banda baja solo permite espacio para 3 competidores (lo que sería incluso un 105%), sin dejar espacio para un nuevo competidor. Lo mismo ocurre en la banda media baja en donde con un 30% solo daría pie a 3 competidores fuertes (nuevamente, el “oligopolio”) y solo un 10% para un(os) nuevo(s) competidor(es). Por otro lado, las bandas media y alta son las únicas que contemplan un plan de 4 competidores, pero todo esto al “largo plazo”, lo que sin límites claros deja todo tal y como estaba en un comienzo, con solo 3 grandes empresas de telecomunicaciones y una regulación “parcial”.

Dado esto, el pasado 20 de diciembre del 2019, WOM, Netline y Conadecus presentaron un recurso de reclamo ante la corte suprema para frenar la decisión del TDLC [84]. Esto, debido claro a que esta regulación no ayuda en nada a las nuevas empresas que buscan abrirse paso entre la competencia.

Es por ello que en pasado 13 de julio del 2020 la corte suprema ratificó estos límites [85] realizando algunas modificaciones, quedando de la siguiente forma:

1. Banda baja (inferior a 1 GHz): límite máximo de 32% de espectro por operador.
2. Banda media baja (entre 1 y 3 GHz): un límite máximo de 30% por operador.
3. Banda media (entre 3 y 6 GHz): límite máximo de 30% por operador
4. Banda media alta (entre 6 y 24 GHz): sin límites máximos por operador.
5. Banda alta (superior a 24 GHz): límite máximo de 25% por operador.

Con esto, ya se logra consolidar una competencia más justa, en la cual pueda haber al menos 4 operadores compartiendo el espectro.