

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G  
QUE MEJORE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO  
DE DATOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ  
ESTUDIO DE CASO: EMPRESA VIVA NUEVATEL PCS.**

Autor: Ivan Marcelo Condori Uruchi

Tutor: Ing. Cesar Lozano Mantilla

La Paz – Bolivia  
2019



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## *Dedicatoria*

*La realización del presente Proyecto de Grado esta dedicado a mis padres, Luciano Condori y Bona Uruchi, debido a que fueron el principal cimiento en la construcción de mi vida profesional.*

*Gracias por todo el amor y apoyo incondicional que me brindaron, ya que sin Ustedes nada de esto hubiese sido posible.*

## *Agradecimientos*

*Agradezco primeramente a Dios que me ha dado fortaleza, sabiduría y unos maravillosos padres que con su apoyo y amor guiaron mi vida profesional cada día durante este largo camino.*

*A mi tutor, Ing. Cesar Lozano, por su colaboración y asesoramiento oportuno a lo largo de la realización de mi Proyecto de Grado.*

*Al Ing. Carlos Irigoyen por su orientación y asesoramiento en la realización del presente Proyecto de Grado.*

*Y a todos aquellos Docentes y personas amigas que han contribuido de alguna manera a mi formación académica.*

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CAPITULO I .....	1
MARCO INTRODUCTORIO .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CENTRAL .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. Objetivo General .....	4
1.3.2. Objetivos Específicos .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4.1. Justificación Tecnológica .....	4
1.4.2. Justificación Económica .....	5
1.4.3. Justificación Social .....	5
1.5. ALCANCES Y LÍMITES .....	5
1.5.1. Alcances.....	5
1.5.2. Límites.....	6
CAPITULO II .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. GENERACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL.....	7
2.1.1. Tecnología 2G.....	7
2.1.2. Tecnología 2.5G.....	8
2.1.3. Tecnología 3G.....	8
2.1.4. Tecnología 3.5G y 3.75G .....	9
2.2. LONG TERM EVOLUTION (4G LTE).....	10
2.2.1. Arquitectura del Sistema LTE.....	11
2.2.1.1. Red de Acceso Evolucionado .....	12
2.2.1.2. Red Troncal EPC .....	14
2.2.1.3. Subsistema IP Multimedia.....	17
2.2.1.4. Equipo de Usuario .....	19
2.2.2. Tecnologías OFDMA, SC-FDMA y MIMO .....	20
2.2.2.1. Tecnología OFDMA .....	20

2.2.2.2.	Tecnología SC-FDMA .....	21
2.2.2.3.	Tecnología MIMO .....	22
2.3.	COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G CON 4G .....	24
2.4.	MARCO REGULATORIO NACIONAL E INTERNACIONAL PARA 5G .....	27
2.4.1.	Frecuencias para 5G.....	27
2.5.	TECNOLOGÍA 5G .....	33
2.5.1.	Arquitectura de la Tecnología 5G.....	33
2.5.1.1.	Requerimientos Claves de 5G .....	33
2.5.1.2.	Arquitectura Física .....	35
2.5.2.	Capa Física de 5G .....	39
2.5.2.1.	Codificación Fuente .....	39
2.5.2.2.	Codificación Canal .....	39
2.5.2.3.	Métodos de Duplexado .....	39
2.5.2.4.	Técnica de Acceso Múltiple NOMA.....	41
2.5.2.5.	Formas de Onda para 5G .....	41
2.5.2.6.	Múltiples Antenas para 5G.....	42
2.6.	ETAPAS EN EL DESPLIEGUE DE UNA RED 5G .....	43
2.6.1.	Establecimiento de los Objetivos de Capacidad y Cobertura.....	45
2.6.2.	Obtención de Datos Geográficos Detallados.....	47
2.6.3.	Realización del Diseño Preliminar de la Red .....	48
2.6.4.	Obtención de Espectro para Pruebas .....	50
2.6.5.	Realización de un Test Drive Preliminar .....	51
2.6.6.	Realización de un Requerimiento de Propuestas a Proveedores .....	51
2.6.7.	Realizar el Diseño Conjunto de la Red.....	52
2.6.8.	Ubicación de las Estaciones Base .....	53
2.6.9.	Realización de los Test Drive de los Sitios Preseleccionados .....	53
2.6.10.	Supervisión y Aprobación de Sitios.....	53
2.6.11.	Despliegue y Construcción de la Red .....	54
2.6.12.	Instalación y Verificación de los Equipos .....	54
2.6.13.	Optimización de la Red .....	54
2.6.14.	Realización de un Test de Aceptación.....	55
	CAPITULO III .....	56

MARCO PRÁCTICO .....	56
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	56
3.1.1. Métodos de Investigación.....	56
3.1.2. Tipo de Investigación .....	56
3.1.3. Muestreo .....	56
3.1.4. Equipo Móvil para la Medición de Potencia.....	57
3.1.5. Aplicación Gratuita Netmonitor.....	58
3.1.6. Técnicas de Recolección de Datos Primarios y Secundarios .....	59
3.1.6.1. Fuentes Primarias.....	59
3.1.6.2. Fuentes Secundarias .....	59
3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	60
3.2.1. Empresa Nuevatel VIVA PCS .....	60
3.2.2. Situación del Servicio 4G LTE de la Empresa VIVA en La Paz .....	62
3.2.3. Alternativa de Solución Elegida.....	64
3.2.4. Proceso de Ingeniería de Diseño de la Red 5G .....	65
3.2.5. Estudio de la Demanda y Oferta .....	67
3.2.5.1. Análisis de la Demanda .....	69
3.2.6. Tamaño y Localización del Proyecto.....	70
3.2.7. Selección y Ubicación de Radiobases 5G.....	72
3.2.8. Estudio de Tráfico .....	75
3.2.9. Arquitectura Propuesta de la Red 5G.....	75
3.2.10. Modulación para 5G.....	77
3.2.11. Selección de Equipos .....	79
3.2.12. Diseño General de la Red 5G .....	80
3.2.12.1. Seguridad .....	87
CAPITULO IV .....	100
MARCO CONCLUSIVO .....	100
4.1. CONCLUSIONES.....	100
4.2. RECOMENDACIONES .....	102
4.3. BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS .....	106

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El presente proyecto de titulación tiene por objetivo el desarrollo de una estrategia de implementación de la tecnología 5G para que mejore la prestación del servicio de datos móviles para la empresa VIVA Nuevatel PCS en la ciudad de La Paz.

Actualmente, la cobertura de 4G LTE se ve limitada a algunas zonas de la ciudad de La Paz, ya que la potencia de la señal de este servicio se reduce de tal forma que conmuta a la red 3G HSDPA o finalmente al servicio de Datos Mejorados para la Evolución del GSM (EDGE, Enhanced Data Rates for GSM Evolution). A su vez en la ciudad de La Paz existen algunas zonas donde los canales de datos móviles se saturan lo que produce la conmutación a otras redes ya mencionadas, viéndose mermada la velocidad de navegación para el usuario.

Para cumplir este objetivo primero se realizó un diagnóstico técnico de la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz y su proyección para implementar una red 5G. A continuación, se realizó una comparación de la arquitectura y características de las tecnologías 4G LTE y 5G empleadas en la transmisión de datos de manera móvil.

Asimismo, se evaluó la disponibilidad de la frecuencia de operación más apropiada para la red 5G de acuerdo a la normativa regulatoria vigente en Bolivia. Finalmente, se propuso el diseño de una infraestructura de la red de acceso móvil 5G de datos para la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz.

# CAPITULO I

## MARCO INTRODUCTORIO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Los primeros teléfonos compatibles con la red 5G llegarán al mercado en el segundo semestre del 2019. En principio los primeros beneficios serán para los operadores, gracias a la importancia de la banda ancha que se ofrece, la red 5G permitirá proponer un servicio de Internet fijo con mayor ancho de banda, allí donde desplegar la fibra óptica para el hogar sea más costoso o este saturado de conexiones cableadas. Y, sobre todo, evitará los cuellos de botella de las redes móviles ahora que ver videos en los dispositivos es tan común. Más adelante, la 5G permitirá desarrollar la realidad aumentada, especialmente para enriquecer los eventos en directo con informaciones complementarias en la pantalla del teléfono e interconectar varios dispositivos a la red.

Actualmente, la empresa Nuevatel Viva PCS de Bolivia cuenta con la tecnología móvil 4G LTE que permite un aumento de la velocidad de navegación en Internet y ofrece una gran capacidad de transmisión de datos sin necesidad de que sus clientes adquieran bolsas y planes distintos a los que utilizan. Con el aumento de la demanda por una mayor velocidad de acceso de datos hacia la red Internet, se desarrolló una estrategia de implementación de la tecnología 5G para que mejore la prestación del servicio de datos móviles en la ciudad de La Paz para dicha empresa.

La solución elegida pretende optimizar la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz. En un principio, el proceso el tráfico de datos móviles de la red 5G se lo realizará a través de la infraestructura de transporte de redes 4G bajo el concepto de NSA, lo que se traduce en una baja inversión inicial en la tecnología 5G por parte de la empresa hasta que el estándar este más desarrollado y los equipos móviles sean 100% compatibles con el sistema. A su vez la solución elegida esta enfocada en investigar aspectos como capacidad de usuarios, anchos de banda, frecuencia de operación, infraestructura de la red de acceso, seguridad, marco regulatorio, entre otros.

Para el cumplimiento de la estrategia se partió de un diagnóstico de la actual red móvil de Nuevatel PCS, a continuación se realizó un estudio técnico que permitió observar la viabilidad a futuro, para que la mencionada empresa implemente en su red la tecnología 5G.

También, se realizó un estudio legal sobre la frecuencia destinada a la transmisión de datos por 5G. Finalmente, se establecieron las conclusiones y recomendaciones que darán los lineamientos para un mejor despliegue de la red de acceso. El aporte del presente trabajo está en que se busca la optimización de la actual red 4G LTE mediante un estudio técnico para evaluar la implementación de una red 5G que preste servicios de datos móviles de manera conjunta.

Una de las ventajas más importantes de la tecnología 5G sobre sus antecesores es la mejora de la latencia en la transmisión de datos. 5G está pensado para manejar todos los tipos de tráfico con latencia extremadamente baja, ideal para alimentar tecnologías portátiles, coches inteligentes o dispositivos domésticos que llegarán bajo el denominativo de Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things). Se espera que la latencia de extremo a extremo caiga por debajo de un milisegundo, permitiendo nuevas tecnologías y aplicaciones que simplemente no son posibles con el 4G LTE actual.

La tecnología 5G no está pensada para ser un reemplazo de la tecnología 4G LTE, sino para que ambas puedan coexistir. De esta forma existirá un cambio gradual que no represente un fuerte impacto económico para la operadora telefónica.

Para que se pueda dar esta coexistencia se lanzó al mercado la tecnología 5G Non stand-alone (NSA) que permite conectar redes 4G y 5G simultáneamente en base al estándar aprobado por el 3GPP el pasado mes de diciembre de 2017 y que permite alcanzar velocidades superiores a los 2 Gbps con latencias inferiores a los 10 ms.

Esta tecnología será la que se utilice para los despliegues comerciales en la mayoría de los países del mundo y para la que se están fabricando chips que darán lugar a móviles comerciales a principios de 2019.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CENTRAL

Actualmente, la red de VIVA Nuevatel PCS regional La Paz cuenta con una red 2G/3G y también con una 4G LTE por donde se cursa tráfico de voz y datos respectivamente. Cabe señalar que la empresa VIVA aún no posee una red 5G. La red GSM de voz de la empresa presenta un alto congestionamiento, debido a la cantidad de llamadas telefónicas que se cursan por la misma, sobre todo en horas pico o en lugares donde se presenta una alta demanda por canales telefónicos, como por ejemplo, en eventos deportivos en el Estadio de Miraflores de esta ciudad, donde las radiobases no pueden atender con calidad los requerimientos de los usuarios.

Esto se traduce en insatisfacción y molestia en los clientes de este servicio, ya que sufren desconexiones o caídas de las llamadas en curso, también la comunicación se torna imposible debido al retardo en la comunicación por lo que se escucha solamente ruido. Asimismo, la transmisión de datos por la red móvil 4G LTE sufre de retardo, por lo cual los datos de los usuarios como video no se pueden visionar de manera continua. También, la cobertura de 4G LTE se ve limitada a algunas zonas de la ciudad de La Paz, ya que la potencia de la señal de este servicio se reduce de tal forma que conmuta a la red 3G HSDPA o finalmente al servicio de Datos Mejorados para la Evolución del GSM (EDGE, Enhanced Data Rates for GSM Evolution). A su vez en la ciudad de La Paz existen algunas zonas donde los canales de datos móviles se saturan lo que produce la conmutación a otras redes ya mencionadas, viéndose mermada la velocidad de navegación para el usuario.

Debido a que 5G es una tecnología reciente, es importante evaluar el rendimiento de esta tecnología. De manera específica el estudio de Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service) en la transmisión de datos móviles, resulta de vital importancia para determinar la capacidad de esta tecnología para soportar una determinada cantidad de usuarios, cuyo tráfico de datos cursados por la red tengan una calidad aceptable independientemente de si hay o no otros servicios que solicitan recursos, priorizándose los contenidos, sean datos web o videos, ya que una conexión de datos debe de mantenerse activa hasta que el usuario mismo la termine con una mayor velocidad de acceso a la red.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar una estrategia de implementación de la tecnología 5G para que mejore la prestación del servicio de datos móviles para la empresa VIVA Nuevatel PCS en la ciudad de La Paz.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico técnico de la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz y su proyección para implementar una red 5G.
- Comparar la arquitectura y características de las tecnologías 4G LTE y 5G empleadas en la transmisión de datos de manera móvil.
- Evaluar la frecuencia de operación más apropiada para la red 5G de acuerdo a la normativa regulatoria vigente en Bolivia.
- Proponer el diseño de una infraestructura de la red de acceso móvil 5G de datos para la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

### **1.4.1. Justificación Tecnológica**

El presente proyecto se justifica tecnológicamente debido a que la utilización de 5G presenta las siguientes ventajas: presenta una baja latencia para la transmisión de datos entre 2 o 3 ms; incremento de la velocidad de bajada para visionar contenido multimedia sin interrupciones; y la conformación de haces para la agregación de portadoras, lo que también logra un incremento de la velocidad para el usuario. Existen ocasiones en la red 4G LTE está saturada, lo que ocasiona que los usuarios no puedan navegar por la red Internet y usar los distintos servicios que esta ofrece, por lo que 5G se convierte en una solución factible al momento de descongestionar dicha red. Por otra parte, 5G también cuenta con la infraestructura necesaria para

que los dispositivos tanto fijos, como módems inalámbricos, y móviles, como teléfonos inteligentes y tablets, que emplean sistemas anteriores, tales como UMTS (3.5G) y 4G LTE, puedan utilizar esta tecnología.

#### **1.4.2. Justificación Económica**

El presente proyecto se justifica económicamente, debido a que la red 5G estaría soportada sobre la infraestructura de la actual red 4G LTE de la empresa VIVA, lo cual no representaría un fuerte impacto económico para la empresa, por lo que la inversión inicial en los equipos sería mesurada y se continuaría utilizando la red existente en una modalidad NSA para 5G.

#### **1.4.3. Justificación Social**

El presente proyecto se justifica socialmente, ya que mediante la optimización de la red de telefonía móvil de datos de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz, se pretende mejorar la calidad del tráfico de datos que se cursan mediante las redes UMTS (3.5G) y 4G LTE de la mencionada empresa, debido a que se tendrá una mejor fluidez en la navegación por Internet y streaming de contenido multimedia, mejorando de esta forma la satisfacción global del usuario.

### **1.5. ALCANCES Y LÍMITES**

#### **1.5.1. Alcances**

En el presente proyecto de grado se establecen los siguientes alcances:

- El alcance geográfico del presente proyecto de grado está circunscrito solamente a la red de datos móvil desplegada por la empresa Nuevatel VIVA PCS en la zona central de la ciudad de La Paz.
- La adquisición de datos sobre la red móvil 4G LTE desplegada por la empresa VIVA Nuevatel PCS en la ciudad de La Paz, se lo realizó en un solo instante de tiempo correspondiente a la gestión 2019.

### 1.5.2. Límites

En el presente proyecto de grado se establecen los siguientes límites:

- En el presente proyecto de grado solo se realizó la evaluación de la capacidad tecnológica de la red 5G para la prestación del servicio datos móviles.
- El presente proyecto se lo realizó solo a nivel propuesta, por lo que no se hizo ninguna implementación del mismo como una prueba piloto, debido a fue puesto a consideración de la gerencia de planificación técnica de la empresa Nuevatel VIVA PCS para su evaluación.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. GENERACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL**

##### **2.1.1. Tecnología 2G**

A principios de los años 90 se introducen las primeras redes de telefonía móvil basadas en un protocolo estándar que tenía como principales objetivos la interconexión de las redes y la posibilidad de conectarse a ellas con un mismo terminal, apareciendo el primer concepto de roaming<sup>1</sup>. (MASMÓVIL, 2019)

Las comunicaciones digitales ofrecen mejor calidad de voz que las análogas, por lo que muchas operadoras telefónicas móviles implementaron el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, Time Division Multiple Access) y el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access), los cuales permitieron la migración de la telefonía móvil análoga a la digital. (MASMÓVIL, 2019)

Este protocolo es conocido como Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile Communications). También trajo otras ventajas como una mejor calidad de voz, mayor velocidad para transmitir datos, transmisión de faxes y el Sistema de Mensajes Cortos (SMS, Short Message System). Con esta segunda generación, los servicios de telefonía móvil se vuelven populares entre las personas. (MASMÓVIL, 2019)

Una posterior mejora, permitió la transmisión de datos a mayor velocidad (56 Kbps), el intercambio de imágenes y la posibilidad de navegar por Internet. Esta mejora se debe a la implantación de la tecnología del Servicio General de Radio Paquetes (GPRS, General Packet Radio Service) sobre las redes existentes y favorece la aparición de las terminales móviles “Blackberries” y de los primeros “smartphones”. (MASMÓVIL, 2019)

---

<sup>1</sup> Es un concepto utilizado en telecomunicaciones para referirse a la posibilidad de un dispositivo inalámbrico de utilizar una cobertura de red distinta de la principal.

### **2.1.2. Tecnología 2.5G**

Gracias a la llegada de la tecnología 2.5G, los dispositivos móviles incluyeron dos nuevos servicios. Por un lado el sistema denominado Sistema de Mensajería Mejorada (EMS, Extended Message System), que entre sus prestaciones permitía incluir dentro de los mensajes algunas melodías e iconos. (ITSS, 2015)

Por otro lado, se incorporó el servicio de Sistema de Mensajería Multimedia (MMS, Multimedia Message System), los cuales eran mensajes que ofrecían la posibilidad de incluir imágenes, sonidos, texto y vídeos, utilizando para ello la tecnología GPRS. (ITSS, 2015)

Con el agregado de estos dos innovadores servicios en las comunicaciones móviles, la generación de transición debió valerse para ello de la incorporación de dos importantes nuevas tecnologías, como lo eran en esos años el GPRS y Datos Mejorados para la Evolución del GSM (EDGE, Enhanced Data Rates for GSM Evolution). (ITSS, 2015)

Cabe destacar que el sistema GPRS ofrece una velocidad de transferencia de datos de 56 Kbps a 114 Kbps, mientras que la tecnología EDGE permite alcanzar 384 Kbps en velocidad de transferencia de datos. (ITSS, 2015)

### **2.1.3. Tecnología 3G**

La tecnología 3G es un servicio de comunicaciones inalámbricas que permite estar conectado de forma permanente a Internet a través del teléfono móvil, una Tablet o computadora portátil. La tecnología 3G propone una mejor calidad y fiabilidad, una mayor velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior. Con velocidades de datos de hasta 384 Kbps, es casi siete veces más rápida que una conexión telefónica estándar. (EcuRed, 2019)

En Estados Unidos, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union) definió los requerimientos de las redes 3G con el estándar IMT2000. Este estándar se desarrolló mediante un sistema móvil denominado Sistema Universal de Telefonía Móvil (UMTS, Universal Mobile

Telephone System), éste a su vez está desarrollado a partir del Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA, Wideband Code Division Multiple Access), que es una tecnología móvil inalámbrica que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA, es por ello que 3G ofrece velocidades mucho más altas de datos en aparatos inalámbricos portátiles. (EcuRed, 2019)

También UMTS se define como un sistema por capas. La capa de más arriba es la capa de servicios y como su nombre lo señala se encarga de su despliegue en forma rápida; en el centro se encuentra la capa de control que se preocupa de ayudar a la mejora de los procedimientos y permite que la capacidad de la red sea dinámica; en la zona más baja se encuentra la capa de conectividad, la que tiene como labor la transmisión de datos y el tráfico de voz. El primer país en implementar una red comercial 3G a gran escala fue Japón. En la actualidad, existen 164 redes comerciales en 73 países usando la tecnología WCDMA. (EcuRed, 2019)

#### **2.1.4. Tecnología 3.5G y 3.75G**

La tecnología de Acceso de Bajada a Paquetes a Alta Velocidad (HSDPA, High Speed Downlink Packet Access), también denominada 3.5G, 3G+ o Turbo 3G, es la optimización de la tecnología UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP Release 5 y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información pudiéndose alcanzar tasas de velocidad de hasta 14 Mbps. A su vez, soporta tasas de throughput<sup>2</sup> promedio cercanas a 1 Mbps. (MyCommunity, 2019)

Es la evolución de la tercera generación (3G) de tecnología móvil, llamada 3.5G, y se considera el paso previo antes de la cuarta generación (4G). Es totalmente compatible en sentido inverso con WCDMA y aplicaciones ricas en multimedia desarrolladas para WCDMA por lo que funcionan con HSDPA. La mayoría de los proveedores UMTS aun dan soporte a HSDPA. (MyCommunity, 2019)

---

<sup>2</sup> Velocidad a la que se transmiten los datos. También puede definirse como la cantidad de datos movidos satisfactoriamente de un lugar a otro en un período determinado. El rendimiento se mide en bits por segundo (BPS). En términos de hoy esto se expresará en megabits por segundo (Mbps), o gigabits por segundo (Gbps).

La telefonía móvil 3.5G es una variante del sistema 3G, el que revolucionó la manera en que los teléfonos móviles podían ser usados, alcanzando una gran funcionalidad en sus herramientas así como también en el envío y recepción de datos, primero, entre varios teléfonos celulares, y después desde redes de datos, Internet, terminales electrónicas, etc. Dentro del desarrollo del sistema 3G, ahora se está empezando a consolidar 3.5G como el más efectivo patrón de funcionamiento en la mayoría de teléfonos móviles, teniendo en cuenta su gran funcionalidad así como la facilidad con la que las centrales operadoras pueden aplicarlo y manejarlo, sin necesidad de aplicar técnicas que difícilmente se pueden encontrar en el país donde se presta el servicio. (MyCommunity, 2019)

Para tal efecto, se emplea el Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad (HSUPA, High-Speed Uplink Packet Access) el cual es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida (de hasta 5.76 Mbps). Calificado como generación 3.75 (3.75G), es una evolución de HSDPA, nombrado popularmente como 3.5G. HSUPA está definido en el UMTS Release 6, estándar publicado por el 3GPP ([www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)), como la tecnología que ofrece una mejora sustancial en la velocidad para el tramo de subida, desde el terminal móvil hacia la red. (MyCommunity, 2019)

## **2.2. LONG TERM EVOLUTION (4G LTE)**

Actualmente, 4G es la sigla utilizada para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es la sucesora de las tecnologías 2G y 3G, y precede a la próxima generación, la 5G. Está basada completamente en el protocolo IP, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes cableadas e inalámbricas. Esta tecnología es utilizada mediante módems inalámbricos, celulares inteligentes y otros dispositivos móviles. (EcuRed, 2019)

La principal diferencia con las generaciones predecesoras es la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en quietud, manteniendo una Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service) de extremo a extremo de alta seguridad, que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible. (EcuRed, 2019)

### 2.2.1. Arquitectura del Sistema LTE

La tecnología LTE mejora la tasa de datos, la eficiencia del espectro radioeléctrico y la latencia basándose en OFDMA en el enlace descendente y en SC-FDMA para el enlace ascendente. Ambas permiten altas tasas en canales móviles, afectados por la propagación multitrayectoria y el efecto Doppler, derivado del movimiento de la terminal. Además el uso de MIMO (múltiples antenas tanto en transmisión como en recepción) permite un aumento notorio en la capacidad del sistema. (TutorialLTE, 2014)

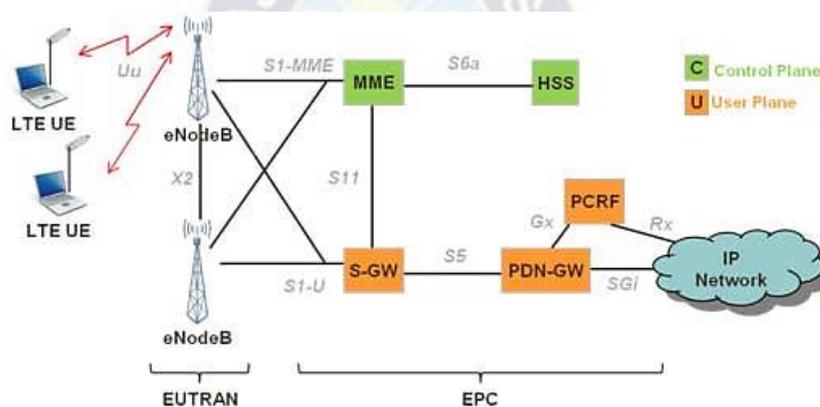
El núcleo de conmutación de paquetes para las redes 4G del 3GPP ha sido rediseñado y llamado Evolución de la Arquitectura de Sistema (SAE, System Architecture Evolution o también Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS, Evolved Packet System). SAE logra interconectar diversas redes de acceso, que en algunas ocasiones pueden ser heterogéneas entre ellas. La arquitectura SAE diferencia redes de acceso 3GPP y no-3GPP: (TutorialLTE, 2014)

- Red 3GPP: Cuentan con el Servidor de Suscripción Local (HSS, Home Subscriber Server) como la base de datos de información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un Gateway de Paquetes (PDG, Packet Data Gateway).
- Red no-3GPP: Utiliza un servidor de Autenticación, Autorización y Contabilidad (AAA, Authentication, Authorization y Accounting) 3GPP, que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas.

La arquitectura SAE sigue los mismos parámetros de diseño de las redes 3GPP antecesoras, sin embargo, divide las funciones de la Puerta de Enlace de Control (SGSN en UMTS) en un plano de control, comandado por la Entidad de Administración de la Movilidad (MME, Mobility Management Entity), y un plano de usuario liderado por la Puerta de Enlace de Señalización (SGW, Signalling Gateway). (TutorialLTE, 2014)

Tal y como se puede ver en la Figura 2.1, la arquitectura de un sistema LTE la componen un Equipo de Usuario (UE, User Equipment) que accede a la red LTE a través de una Red de Acceso Terrestre de Radio Evolucionado (E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Access Network), el cual consiste en un único elemento, la estación base llamada en LTE, Nodo B Evolucionado (eNode B, Evolved Node B). Todo el sistema radio LTE está controlado por el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC, Evolved Packet Core) que lo conforman generalmente cinco elementos, clasificados en Plano de Control (Control Plane) y Plano de Usuario (User Plane) dependiendo de la función que cada elemento desarrolla. (TutorialLTE, 2014)

**Figura N° 2.1 Arquitectura del sistema LTE.**



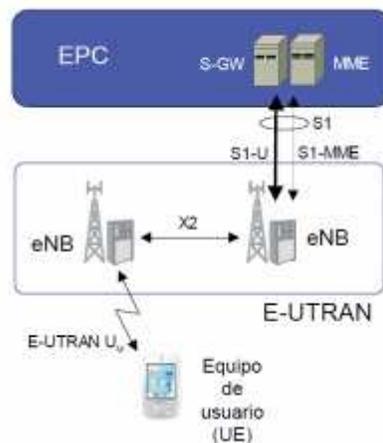
Fuente: TutorialLTE, 2014.

### 2.2.1.1. Red de Acceso Evolucionado

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada eNodeB que constituye la estación base de E-UTRAN. Así pues, la estación base E-UTRAN integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, Nodo B) y equipos controladores (BSC y RNC). (TutorialLTE, 2014)

Tal y como se muestra en la Figura 2.2, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNodeBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Un eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: Uu, S1 y X2. (TutorialLTE, 2014)

**Figura N° 2.2 Red de acceso evolucionado E-UTRAN.**



**Fuente:** TutorialLTE, 2014.

La interfaz Uu o simplemente interfaz radio LTE, permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNodeB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz Uu se implementan en el eNode B. (TutorialLTE, 2014)

El eNode B se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario, la separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (ej., paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). (TutorialLTE, 2014)

Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (por ej., configuración de la operativa del eNode B desde la red EPC a través de S1-MME). Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNode B con dos nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNode B se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de

sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (dicha entidad de red de la red troncal EPC se denomina MME. Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNode B se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (dicha entidad de red de la EPC se denomina SGW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite gestionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios. (TutorialLTE, 2014)

Opcionalmente, los eNode B pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNode B se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (por ej., información para reducir interferencias entre eNode B) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNode B a otro durante un proceso de handover<sup>3</sup>. (TutorialLTE, 2014)

#### **2.2.1.2. Red Troncal EPC**

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución del servicio GPRS) mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN. Asimismo, otro factor clave considerado en el diseño de la arquitectura de la red troncal ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito del 3GPP (CDMA2000, WiMax, 802.11). (TutorialLTE, 2014)

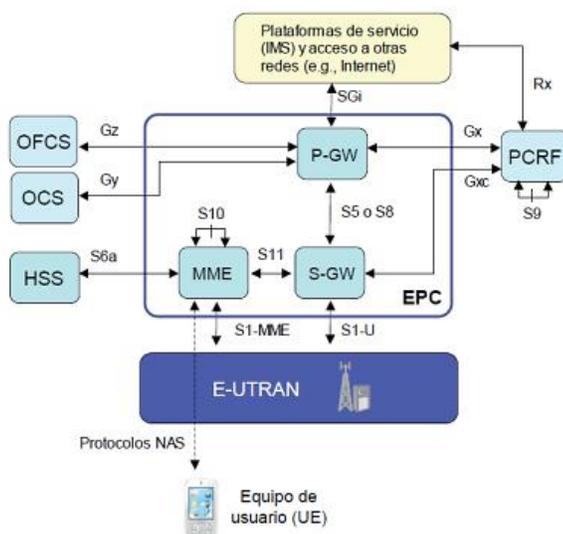
De cara a introducir los diferentes componentes de la arquitectura completa de EPC de forma progresiva, la arquitectura mostrada en la Figura 2.3 comprende únicamente las entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC para la provisión de servicios de conectividad IP a través de una red de acceso E-UTRAN,

---

<sup>3</sup> Se denomina handover o traspaso al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

junto con las entidades de red e interfaces que soportan las funciones relacionadas con el control de del servicio de conectividad (por ej., control de QoS) y de los mecanismos de tarificación. (TutorialLTE, 2014)

**Figura N° 2.3 Red troncal EPC.**



**Fuente:** TutorialLTE, 2014.

Tal como se ilustra en la figura anterior, el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Signalling Gateway (SGW) y Packet Data Network Gateway (PDGW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (SGW y PDGW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control. (TutorialLTE, 2014)

La interconexión de la red de acceso E-UTRAN a la EPC se realiza a través de la interfaz S1. En particular, la interfaz S1-MME que sustenta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz S1-U del plano de usuario termina en el SGW. La entidad MME termina el plano de control de los equipos de usuario conectados a la red LTE mediante los protocolos de Estrato de No Acceso (NAS, Non Access Stratum) y controla las funciones de transferencia del plano de

usuario de red LTE a través de la interfaz S11 con la pasarela SGW. Asimismo, la entidad MME se conecta a la entidad HSS a través de la interfaz S6a para acceder a la información asociada a los usuarios de la red que estén autorizados a establecer conexiones a través de E-UTRAN. Las entidades MME también pueden comunicarse entre ellas mediante la interfaz S10. (TutorialLTE, 2014)

Por otro lado, la interconexión de la EPC con redes externas o plataformas de servicio (por ej. plataformas IMS) se realiza a través de la pasarela PDGW mediante la interfaz SGi. La pasarela PDGW soporta funciones, entre otras, de asignación de direcciones IP a los equipos de usuario y mecanismos de control de los parámetros de calidad de servicio de las sesiones de datos establecidas a través de la red LTE. Internamente, la pasarela PDGW se conecta a la pasarela SGW mediante la interfaz S5, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y mediante S8, cuando éstas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de roaming o itinerancia. (TutorialLTE, 2014)

También se puede ver en la figura, la entidad de red de Función de Reglas de Políticas y Tarifación (PCRF, Policy and Charging Rules Function) constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, y en particular, del sistema LTE. La entidad PCRF forma parte del marco funcional denominado Control de Políticas y Tarifación (PCC, Policy and Charging Control) que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE (por ej., activación y determinación de los parámetros de QoS asociados a cada servicio portador) así como realizar el control de los mecanismos de tarifación (por ej., tarifación online, offline, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.). (TutorialLTE, 2014)

Así pues, mediante la interfaz Gx, el PCRF gestiona los servicios portadores EPS de la red LTE mediante el envío de unas reglas de uso (por ej., reglas PCC) que sirven para configurar la operación de unas funciones específicas del plano de usuario de la pasarela PGW (por ej., funciones que limitan la tasa de transferencia en bps de los servicios portadores). La entidad PCRF es accesible desde las plataformas de servicios externas como IMS mediante la interfaz Rx. Dicha interfaz ofrece la funcionalidad de control necesaria para que los servidores de aplicación externos puedan proporcionar información asociada a los servicios finales a los que accede el

usuario junto con las características y requerimientos de QoS. A modo de ejemplo, si un usuario establece un servicio de videoconferencia a través de IMS, el elemento que controla la provisión del servicio en IMS puede indicar a través de la interfaz Rx cuáles son los parámetros de QoS que debe proporcionar el servicio portador de la red LTE para transferir de forma adecuada la información de la videoconferencia. Con esta información, la entidad PCRF envía a la red LTE las reglas PCC pertinentes para la configuración de los servicios portadores. (TutorialLTE, 2014)

Finalmente, las entidades de Sistema de Tarificación Fuera de Línea (OFCS, Offline Charging System) y Sistema de Tarificación en Línea (OCS, Online Charging System) constituyen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Ambas entidades interactúan directamente con la pasarela PGW mediante la interfaz Gz, en el caso de OFCS, y Gy, en el caso de OCS. El marco de tarificación soportado es un marco flexible que permite desplegar modelos de tarificación en base a diferentes parámetros tales como tiempo de uso, volumen de datos, eventos, etc. (TutorialLTE, 2014)

### **2.2.1.3. Subsistema IP Multimedia**

El Subsistema Multimedia IP (IMS, IP Multimedia Subsystem) una arquitectura de referencia genérica para ofrecer servicios multimedia sobre infraestructura IP. Se trata de un estándar internacional aún en evolución, especificado originariamente en la Release 5 y 6 del 3GPP, en estrecha colaboración con el Equipo de Ingeniería de Internet (IETF, Internet Engineering Task Force), y que ha sido adoptado también por otros organismos de estandarización como 3GPP2 y ETSI europeo. (Millán, 2006)

El estándar soporta múltiples tipos de tecnologías de acceso, incluyendo: GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, DSL, HFC, WiFi, WiMax, LTE, etc. Es decir, el concepto actual de las comunicaciones telefónicas y por Internet dará un giro radical a medio plazo, gracias a esta nueva tecnología que permitirá pasar de un sistema a otro sin interrumpir la conexión, utilizar varios medios a la vez o compartirlos e intercambiarlos con varios usuarios. Las principales características tecnológicas de IMS son: (Millán, 2006)

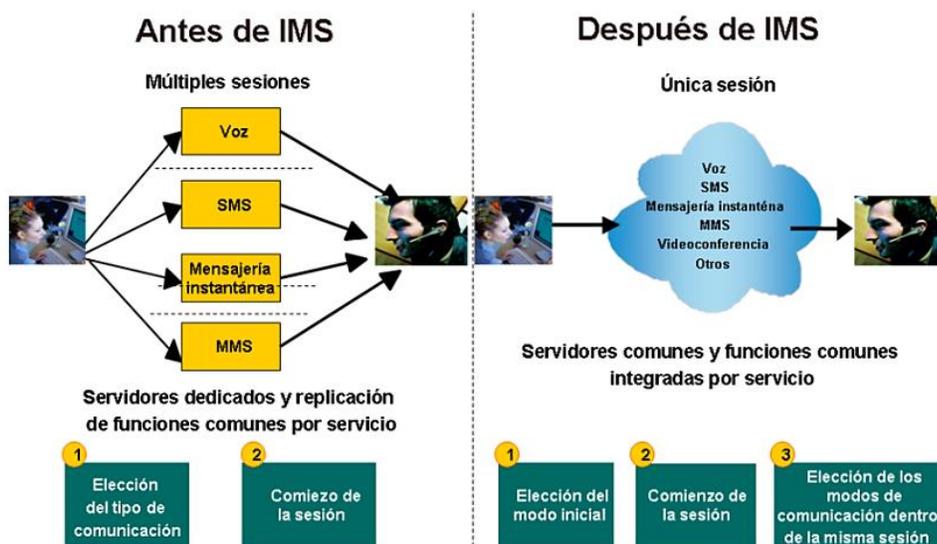
El control de la sesión es realizado por el protocolo de control de llamada IMS basado en el Protocolo de Iniciación de Sesión (SIP, Session Initiation Protocol) y en el Protocolo de Descripción de Sesión (SDP, Session Description Protocol). La señalización de IMS se realiza mediante el protocolo SIP, diseñado originariamente por el IETF para la gestión de sesiones multimedia en Internet. SIP aporta las funciones para el registro, establecimiento, modificación y finalización de las sesiones IMS entre dispositivos diversos. Puesto que no todos los dispositivos son capaces de soportar los mismos servicios, al establecer la sesión se negocian las características de ésta mediante el protocolo SDP, también diseñado por el IETF. (Millán, 2006)

Mediante SDP, los extremos de una sesión pueden indicar sus capacidades multimedia y definir el tipo de sesión que desean mantener. En este intercambio de señalización se negocia también la QoS, tanto durante el establecimiento como durante la sesión en curso. Por ello, y puesto que con IMS es posible monitorizar en todo momento la calidad del servicio en términos de latencia, ancho de banda y seguridad, la QoS en IMS es mucho más dinámica que en las tradicionales redes de telecomunicación. (Millán, 2006)

El transporte de red es realizado mediante IPv6 en vez de IPv4. La razón es que la migración a IPv6 está siendo ya paulatinamente desplegado en Internet y existen ya muchas empresas e instituciones que ya lo emplean internamente. De este modo, el 3GPP prefirió dar compatibilidad hacia atrás en lugar de hacia delante y partir de la situación más avanzada técnicamente. Entre las ventajas de IPv6 cabe destacar la calidad de servicio y seguridad integradas, la autoconfiguración, un mayor espacio de direccionamiento, y que el tráfico en el plano de usuario se transfiere directamente entre terminales siguiendo el modelo P2P. (Millán, 2006)

La provisión de servicios multimedia es realizada por protocolos del IETF. Además de SIP/SDP e IPv6, IMS emplea otros protocolos estándar de Internet para la provisión de servicios multimedia, como: RTP (Real Time Protocol) y RTCP (Real Time Control Protocol) para el transporte de flujos IP multimedia en el plano de usuario, RSVP (Resource Reservation Protocol) y DiffServ para asegurar la QoS extremo a extremo, etc. (Millán, 2006)

**Figura N° 2.4 Acceso a servicios multimedia en IMS.**

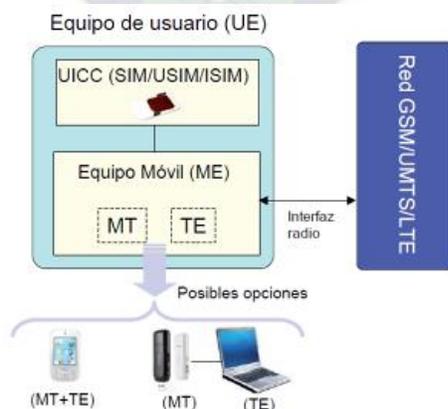


Fuente: Millán, 2006

#### 2.2.1.4. Equipo de Usuario

El equipo de usuario es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE a través de la interfaz radio. (Agusti, 2010)

**Figura N° 2.5 Equipos de usuario, UE.**



Fuente: Agusti, 2010.

La arquitectura funcional de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que en su momento se definió para los sistemas GSM y que se adaptó posteriormente para UMTS. La arquitectura funcional de un equipo de usuario GSM/UMTS/LTE se

muestra en la Figura 2.5. El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/uSIM) y el equipo móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). Adicionalmente, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: la Terminación Móvil (Mobile Terminal, MT) y el Equipo Terminal (Terminal Equipment, TE). (Agusti, 2010)

En el caso del sistema LTE, se ha mantenido la misma compatibilidad, y además, la aplicación correspondiente sigue denominándose uSIM. No obstante, la uSIM utilizada para acceder a un sistema LTE, extiende la aplicación uSIM de UMTS mediante la inclusión de los parámetros adicionales necesarios para gestionar el acceso a través de LTE (por ej., las nuevas claves de seguridad soportadas en LTE). El equipo móvil (ME) integra las funciones propias de comunicación con la red celular así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios de la red (nótese que un usuario puede ser una persona o bien otro dispositivo electrónico). (Agusti, 2010)

En este sentido, de cara a introducir un cierto grado de flexibilidad en el diseño del equipo móvil, se ha definido una interfaz que permite que exista una separación física entre el equipo que alberga las funciones propias de la comunicación (MT) y el equipo que se ocupa de la interacción con el usuario (TE), y que puede contener multitud de aplicaciones adicionales no directamente relacionadas con el sistema de comunicaciones móviles. (Agusti, 2010)

## **2.2.2. Tecnologías OFDMA, SC-FDMA y MIMO**

### **2.2.2.1. Tecnología OFDMA**

Un canal de radio está siempre sujeto a un cierto grado de selectividad de frecuencia, lo que implica que la calidad del canal variará en el dominio de la frecuencia. En el caso de una portadora de banda ancha única, como un portador WCDMA, cada símbolo de modulación se transmite sobre todo el ancho de banda de la señal. Así, en el caso de la transmisión de una portadora de banda ancha solo la frecuencia más alta se selecciona del canal, cada símbolo de modulación será transmitida ambas bandas de frecuencia más con una calidad relativamente buena

(intensidad de la señal relativamente alta) y la frecuencia con bandas de baja calidad (baja intensidad de señal). Esta transmisión de información a través de múltiples bandas de frecuencias con una calidad diferente de canal instantáneo también se conoce como diversidad de frecuencias. (Agusti, 2010)

Por otro lado, en el caso de transmisión de cada símbolo OFDM la modulación se limita principalmente aun ancho de banda relativamente estrecho. Así, para la transmisión OFDM sobre un canal de frecuencia selectivo, ciertos símbolos de modulación puede ser totalmente confinado a una banda de frecuencia instantánea con muy baja intensidad de la señal. Así, los símbolos de modulación individuales típicamente no experimentan ninguna diversidad de frecuencias considerable, incluso si el canal es muy selectivo a la frecuencia sobre el ancho de banda total de transmisión OFDM. (Agusti, 2010)

Como consecuencia, la tasa de error de base rendimiento de transmisión OFDM sobre un canal de frecuencia selectiva es relativamente pobre y muy especialmente peor que la tasa de error de base en el caso de un portador de banda ancha clave. Sin embargo, en la práctica la codificación de canal se utiliza en la mayoría de los casos de comunicación digital y especialmente en la comunicación móvil. (Agusti, 2010)

#### **2.2.2.2. Tecnología SC-FDMA**

La tecnología SC-FDMA ha sido recientemente desarrollada y tiene una estructura y rendimiento similar al OFDMA. SC-FDMA puede ser visto como un sistema OFDMA especial con la señal de usuario precodificada por una Transformada Discreta de Fourier (DFT), también conocida como DFT precodificado OFDMA o DFT Spread OFDMA. Una ventaja de SC-FDMA frente a OFDMA es una más baja PAPR (Peak to Average Power Ratio) de la forma de onda en transmisión para bajas modulaciones como QPSK o BPSK, lo que beneficia a los terminales móviles en términos de ahorro de batería y eficiencia energética. (TutorialLTE, 2014)

Las señales OFDM tienen un mayor Tasa Pico a Promedio (PAR, Peak to Average Ratio) que las señales de Portadora Simple (SC, Single Carrier). La razón es que en

el dominio del tiempo, una señal multi portadora es la suma de muchas señales de banda estrecha. En algunas instancias de tiempo, esta suma es grande y en otros momentos es pequeña, lo que significa que el valor pico de la señal es sustancialmente mayor que el valor medio. Esta alta PAR es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta OFDM, ya que reduce la eficiencia y por lo tanto aumenta el coste del amplificador de potencia de RF, que es uno de los componentes más caros de la radio. La siguiente figura vemos la relación entre OFDM y SC-FDMA tanto en el dominio de tiempo como de frecuencia. (TutorialLTE, 2014)

La principal diferencia entre el esquema de transmisión ascendente y descendente es que cada subportadora en el enlace ascendente lleva información acerca de cada símbolo de modulación, mientras que en el enlace descendente cada subportadora sólo lleva información relacionada con un símbolo de modulación específico. Como resultado, el nivel de potencia de enlace ascendente debido a SC-FDMA también tienen que ser aumentado en un 2 ~ 3 dB para compensar el ruido adicional debido a una mayor difusión. (TutorialLTE, 2014)

### **2.2.2.3. Tecnología MIMO**

La tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output) es una de las principales innovaciones que la tecnología LTE utiliza para mejorar el rendimiento del sistema. Esta tecnología proporciona a LTE la capacidad de mejorar su rendimiento de transferencia de datos y eficiencia espectral, por encima de la obtenida por el uso de OFDM. Como resultado, MIMO se ha incluido como una parte integral de LTE. (TutorialLTE, 2014)

El empleo de MIMO, es decir, el empleo simultáneo de varias antenas transmisoras y receptoras, mejora la velocidad y la calidad de la transmisión. Esta tecnología emplea la propagación por trayectorias múltiples en canales de radiotransmisión, que en los estándares de radiotransmisión habituales se percibe como interferencia perturbadora. En los sistemas MIMO, cada ruta adicional entre el transmisor y el receptor amplía la distancia entre la señal y el ruido. La recepción por trayectorias múltiples beneficia especialmente a las aplicaciones móviles dado que se puede

reducir el nivel de recepción mínimo. En la mayoría de los estándares de comunicación, los modos de funcionamiento MIMO se definen para dos, tres o cuatro antenas. (TutorialLTE, 2014)

En los sistemas MIMO se establece una diferencia entre la diversidad de transmisión y la Multiplexación por División Espacial (SDM, Spatial Division Multiplex). Al emplear la diversidad de transmisión se transmite un flujo de bits de manera simultánea a través de dos antenas, con diferente codificación para cada una. La codificación se basa en el procedimiento de Alamouti, el cual mejora la distancia entre la señal y el ruido, además de la capacidad en los límites de las celdas. La velocidad de transmisión aumenta sólo de forma indirecta como resultado de la mejora de la calidad de la señal. En la multiplexación de espacio se transmiten simultáneamente diferentes flujos de bits en dos antenas de recepción. Esto aumenta el caudal de datos y mejora el aprovechamiento del ancho de banda. (TutorialLTE, 2014)

En los sistemas de radio LTE, la estación base adapta continuamente la codificación de la señal para aprovechar de forma óptima la propagación por trayectorias múltiples. Para reducir la correlación entre las rutas de propagación, el transmisor puede retrasar todas las señales de transferencia, menos una. Este procedimiento se conoce como Diversidad de Ciclo de Retraso (CDC, Cyclic Delay Diversity) o Diversidad de Ciclo de Cambio (CDS, Cyclic Delay Shift). (TutorialLTE, 2014)

Para que una estación base pueda servir a más usuarios o más terminales móviles, se utiliza normalmente el método MIMO Colaborativo para la transferencia en la red de telefonía móvil. Este procedimiento es similar al método de multiplexación de espacio pero no emplea dos antenas transmisoras, sino que dos usuarios envían en la misma frecuencia. Esto aumenta el rendimiento de todo el sistema pero no el de cada usuario. (TutorialLTE, 2014)

Con el fin de lograr rendimientos esperados en sistemas LTE, los operadores deben optimizar las condiciones de trayectoria múltiple de sus redes para MIMO, dirigida tanto a la mejora de las condiciones de dispersión como a conseguir una alta Relación Señal a Ruido (SNR, Signal to Noise Ratio) para cada señal de trayectos múltiples. Este proceso de optimización requiere una precisa medición de las

condiciones de trayectoria múltiple con el fin de lograr el mejor rendimiento para un determinado medio ambiente, evitando de esta forma falsas conjeturas. (TutorialLTE, 2014)

Teniendo información previa sobre el canal un transmisor con múltiples antenas realiza una precodificación de los datos a transmitir ajustando las ganancias y desfases de las señales transmitidas por cada antena. Se puede conseguir así que llegue la máxima potencia posible al receptor con la mínima interferencia sobre otros receptores. Se puede optimizar para varias antenas receptoras utilizando múltiples flujos o streams. (TutorialLTE, 2014)

### **2.3. COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G CON 4G**

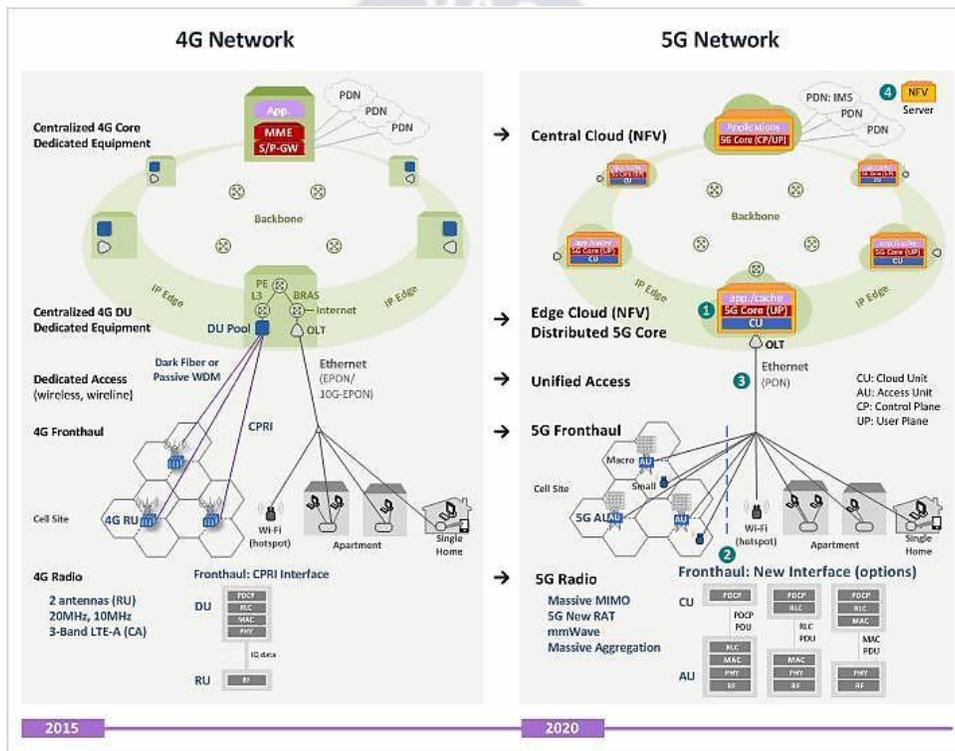
La tecnología 5G de telefonía móvil es la evolución de la tecnología 4G, cuyo objetivo es revolucionar la manera en la que se vive mediante el uso de nuevas redes, que serán necesarias para alimentar el Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) incluyendo coches inteligentes, domótica, banda ancha móvil, ver canales de streaming en calidad 4K y otros servicios que demandan gran cantidad de ancho de banda. Entre las mejoras que tendrá la tecnología 5G será dar soporte para las velocidades de datos de hasta 20 Gbps, pudiendo ser más rápido que el WiFi de su ordenador, esto permitirá que una cantidad masiva de dispositivos se conecten a una red pequeña y se reducirá el consumo de energía. (Jácome, 2017)

Entre algunas de las aplicaciones que se encuentran incluidas en la mejora de la sociedad al implementar la tecnología 5G se pueden citar las siguientes: ciudades, casas y edificios inteligentes; carros que conducen por sí mismos, industrias automatizadas, realidad aumentada, pantallas UHD para ver videos en 3D, entre otros. (Jácome, 2017)

Básicamente, la tecnología 5G permitirá la descarga y carga de datos mucho más rápido que las tecnologías anteriores; las velocidades máximas teóricas para 5G son extremadamente rápidas, entre 1 y 10 Gbps y una latencia de 1 milisegundo, pero en realidad se puede esperar una velocidad de descarga promedio de 20 Mbps y una latencia de 10 ms, en comparación con las velocidades promedio actuales de 4G

entre 15 Mbps y 50 ms. Esto dependerá de la cobertura de la red, la cantidad de personas conectadas en sus alrededores y del dispositivo móvil que se esté usando. Unas de las tecnologías propuestas para el 5G será el espectro milimétrico de la longitud de onda, los ingenieros han demostrado que se podrá tener velocidades superiores a 1 Gbps en las frecuencias de ondas milimétricas (30 a 300 GHz), que a diferencia de 4G LTE, que se encuentran implementadas en la mayoría de países, estas trabajan a frecuencias desde 800MHz hasta 2.5GHz. (Jácome, 2017)

**Figura N° 2.6 Arquitecturas de las redes 4G y 5G.**



Fuente: Jácome, 2017.

Debido al uso de altas frecuencias, 5G podrá trabajar a una velocidad de transmisión de datos unas 10 veces mayor a la que hoy se está utilizando, sin embargo, el alcance de la señal será menor debido a la atenuación de la señal, por lo que se necesitarán más radio bases para que la conexión no se pierda y de esta forma poder navegar por la red Internet permitiendo realizar descargas en solo cuestión de segundos. Una forma de utilizar la longitud de onda milimétrica es a través del sistema MIMO masivo, que utiliza varias antenas para dirigir y enfocar el haz de radio

para que las señales lleguen al receptor, por lo que las estaciones base 5G pueden admitir hasta 100 antenas, frente a las 12 antenas que suelen tener las estaciones base 4G para transmitir y recibir datos. (Jácome, 2017)

Mientras que 4G LTE emplea relativamente pocos repetidores repartidos a varios kilómetros de distancia, el 5G requerirá la presencia de múltiples celdas pequeñas mucho más juntas. Estas mini estaciones base 5G pueden colocarse en la parte superior de torres autosoportadas o en los laterales de los edificios a escasos cientos de metros en áreas urbanas. Logísticamente construir una red como ésta será un desafío, ya que será costoso y llevará tiempo. Como ya se mencionó anteriormente, 5G va a tener mayor capacidad de red que permitirá un servicio más rápido y con menos latencia facilitando que más cantidad de dispositivos se conecten de cualquier lugar del planeta impulsando IoT. (Jácome, 2017)

IoT es un término que ha estado cobrando relevancia en los últimos años, sobre todo es mencionado cuando se habla de la tecnología 5G puesto que, para tener varios dispositivos u objetos provistos de identificadores y conectados inalámbricamente entre sí, transfiriendo de datos entre ellos a través de la red, se va a necesitar que exista una suficiente capacidad para el soporte de los mismos, de tal forma que tanto las personas como objetos puedan conectarse a Internet en cualquier lugar y cualquier momento. (Jácome, 2017)

Para ello, ha sido necesaria tres fenómenos que posibilitan el empleo de IoT por los usuarios que son: la miniaturización, por la cual los componentes de los ordenadores son cada vez más pequeños, lo que facilita también que se pueda conectar prácticamente cualquier cosa, desde cualquier sitio, en cualquier momento; la superación de la limitación de la infraestructura de telefonía móvil y la proliferación de las aplicaciones y los servicios que ponen en uso la gran cantidad de información creada a partir del IoT. (Jácome, 2017)

La televisión es un dispositivo que es utilizado por gran parte de la población, por lo que día tras día se realizan avances en cuanto a televisión digital terrestre respecta. El estándar DVB-T2 requiere de un gran incremento de ancho de banda en las emisiones hasta 40 Mbps, siendo esta una actualización del actual sistema DVB-T

con ventajas como: una mayor robustez, flexibilidad y según información oficial, al menos un 50% más eficiente. De esta forma se puede llegar a soportar calidades SD, HD y TV móvil así como cualquier combinación de ambas. (Jácome, 2017)

## **2.4. MARCO REGULATORIO NACIONAL E INTERNACIONAL PARA 5G**

### **2.4.1. Frecuencias para 5G**

Para el año 2020 la implementación de la tecnología 5G a nivel mundial se dará y una de las necesidades que hay que tener es el uso de nuevo espectro. En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2015 (CMR-15), que se celebró en Ginebra, Suiza, uno de los temas a tratar fue, el uso de frecuencias para casos de estudios para la IMT-2020, quien es la encargada del desarrollo de la tecnología 5G a nivel mundial, la cual se asignó mediante la Resolución COM6/20 las frecuencias comprendidas en el rango de 24, 25 a 86 GHz. (Jácome, 2017)

Las bandas de frecuencias que se atribuyeron a título primario son: 24, 25-27,5 GHz, 37-40,5 GHz, 42,5-43,5 GHz, 45,5-47 GHz, 47,2-50,2 GHz, 50,4-52,6 GHz, 66-76 GHz y 81-86 GHz; mientras que las bandas de frecuencias 31,8-33,4 GHz, 40,5-42,5 GHz y 47-47,2 GHz puede requerir una atribución adicional al servicio móvil a título primario. (Jácome, 2017)

El organismo encargado para la normalización y desarrollo de las redes 5G es la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones), bajo el estándar de IMT-2020 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2020); las IMT-2020 fue creado en mayo del 2015 para analizar cómo interactuarán las tecnologías 5G emergentes en las redes futuras y entre sus tareas se encuentran: (Jácome, 2017)

- Explorar demostraciones o prototipos con otros grupos, en particular la comunidad de la fuente abierta.
- Mejorar aspectos de la informatización de redes y la conexión en red centrada en la información.
- Seguir perfeccionando y desarrollando la arquitectura de red IMT-2020.

- Seguir estudiando la convergencia fijo-móvil.
- Seguir estudiando la segmentación de red para enlaces de conexión al núcleo de red y conexiones frontales.
- Seguir definiendo nuevos modelos de tráfico y aspectos asociados de QoS y Operaciones, Administración y Gestión (OAM) aplicable a las redes IMT-2020.

Las novedosas técnicas aplicadas al espectro celular proporcionarán incrementos significativos en la capacidad de los enlaces, sin embargo, estos aumentos no serán suficientes para satisfacer la demanda prevista. Por ello, es ineludible recurrir a nuevas bandas que ofrece el espectro radioeléctrico. (Jácome, 2017)

En general, para alcanzar el objetivo de capacidad es imprescindible mejorar la eficiencia espectral con el uso de nuevas bandas de frecuencia por encima de los 6 GHz y con la reutilización del espectro a través de células más pequeñas. Además, donde las distancias recorridas por la señal sean menores de 200 metros se puede implementar un sistema que utilice bandas de frecuencias milimétricas, es decir, entre 28-100 GHz. El cronograma propuesto por la UIT para el desarrollo de las IMT-2020 se lo puede observar en la Figura 2.8. (Jácome, 2017)

**Figura Nº 2.7 Cronograma propuesto por la UIT para 5G.**



Fuente: Jácome, 2017.

Una gran ventaja de las bandas situadas por encima de 28 GHz es la disponibilidad de las grandes cantidades de espectro que podría ser explotado. Con ello surgiría la posibilidad de transmitir un ancho de banda del orden del gigahercio cumpliendo, así, el objetivo de anchos de banda entre 0,5 y 2 GHz. Sin embargo, los enlaces de comunicación de ondas milimétricas requieren métodos que mitiguen los problemas producidos por la falta de Línea de Visión Directa (LoS, Line of Sight). (Jácome, 2017)

Al igual que los sistemas 4G, los sistemas inalámbricos futuros se desarrollarán tanto con licencia de ciertas bandas – por ej. 3GPP – como en bandas sin licencia – estándares 802.11 –. Esto es, las tecnologías desarrolladas en ambos tipos de bandas serán complementarias y a su vez compartirán el espectro con otros sistemas inalámbricos ya sean servicios de radar, de difusión u otros. Por ello, es necesario destacar que 5G no reemplazará 4G sino que serán tecnologías que se complementarán mutuamente. (Jácome, 2017)

Las frecuencias superiores a 6 GHz en la tabla siguiente son posibles asignaciones móviles en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT. A su vez, la banda de 60 GHz sin licencia ofrece más espectro que todas las bandas por debajo de 6 GHz; del mismo modo, las bandas 71-76 y 81-86 GHz están disponibles en todo el mundo, donde cada banda cuenta con un ancho de banda de 5 GHz que los hace aptos para la alta velocidad de datos. (Jácome, 2017)

Con las asignaciones a los usuarios de estos amplios anchos de bandas, la reducción del nivel de señal y mediante el uso de MIMO, las redes celulares dejarán de ser redes limitadas por interferencia para estar limitados por el ruido. (Jácome, 2017)

Se tendrán nuevas frecuencias en velocidades de bajada, en teoría serían así: (Jácome, 2017)

- Frecuencia de 700 MHz: 100 Mbps de bajada (12,5 MB/s)
- Frecuencia de 3,4 y 3,8 GHz: 3 Gbps de bajada (375 MB/s)

- Frecuencia de 26 GHz: 10 Gbps de bajada (1.250 MB/s)

Por supuesto, estas velocidades son teóricas, y podrán variar dependiendo de aspectos como la cantidad de dispositivos conectados o la ubicación del nodo. (Jácome, 2017)

Corea del Sur lanzó, el miércoles, la primera red nacional de telefonía móvil 5G y así se convirtió en el primer país del mundo en ofrecer esta tecnología en todo su territorio. Lo hizo a través de tres grandes operadores nacionales: KT, SK Telecom y LG UPlus. (Jácome, 2017)

En Estados Unidos, los usuarios también tienen acceso al 5G, aunque de manera limitada. Verizon oferta el servicio en áreas seleccionadas en Chicago y Minneapolis. Sólo está disponible para quienes tienen el teléfono Moto Z3 y un accesorio 5G en particular, además deben adquirir un abono extra con la compañía. Verizon también ofrece servicio de 5G en banda ancha para los hogares. (Jácome, 2017)

Otras operadoras también hicieron un despliegue limitado en ese país. Tal es el caso de AT&T, que en diciembre anunció que había puesto a disposición este servicio para ciertos clientes en 12 ciudades del país. Y en lo que resta de este año planea sumar este despliegue en otras 21 ciudades. (Jácome, 2017)

Cabe destacar igual que la compañía describe a este servicio como "5GE" y que, tal como se señalaron en varias pruebas técnicas, no alcanza las velocidades del 5G, sino más bien se parece a un 4G+. Y, en algunos casos, incluso la velocidad es inferior. Sprint, por su parte, anunció que lanzará este servicio en mayo en Atlanta, Chicago, Dallas y la ciudad de Kansas. (Jácome, 2017)

Australia, a través de la empresa Telstra, también comenzó a habilitar el 5G en Melbourne y Sydney. Los próximos en sumarse al 5G son Japón, China y algunas regiones de Europa. (Jácome, 2017)

En América Latina, las principales operadoras, en los últimos dos años vienen haciendo pruebas del 5G en ámbitos controlados, para demostrar que cuentan con la capacidad técnica para proveer este servicio. Tal fue el caso de la prueba que

hicieron Movistar y Ericsson en la Argentina, en noviembre de 2017 o la que realizaron Telecom y Nokia, en abril de 2018. En ambos casos se hizo en las oficinas comerciales y se mostraron los beneficios de esta tecnología con casos de usos de realidad virtual y robots, entre otras cosas. (Jácome, 2017)

Pero para que esto llegue a los clientes hace falta superar varios desafíos. El primero de ellos es habilitar y licitar espectro para el 5G. El espectro radioeléctrico es la autopista por donde circula la información. Y este recurso se divide en bandas de frecuencia que se utilizan para diferentes propósitos. (Jácome, 2017)

En el caso del 5G se necesitan tres bandas: por debajo de 1 GHz, para ampliar la cobertura de banda en zonas urbanas, suburbanas y rurales, así como para apoyar los servicios de IoT; entre 1 y 6 GHz para ofrecer una buena combinación de cobertura con capacidad; y por encima de 6 GHz para algunos servicios que requieren ultra velocidad. (Jácome, 2017)

México ya está trabajando en la licitación de frecuencias en las bandas de 3,4 GHz y 600 MHz, algo que podría estar finalizado para 2020. Se espera que México sea el primer mercado en lanzar servicios 5G comerciales, de la mano de Telcel y AT&T, estimó la GSMA, que reúne a más de 80 operadoras de telefonía móvil y 200 empresas relacionadas con el sector. (Jácome, 2017)

Brasil, por su parte, anunció en el último Congreso Mundial de Móviles (MWC 2019) que hará la licitación de espectro para 5G en marzo de 2020. Es la cuarta vez que el regulador brasileño cambia la fecha prevista. Primero iba a ser en 2018 pero esa idea fue descartada casi de inmediato. Chile también contó, durante el MWC 2019, que ya inició el proceso para licitar espectro en las bandas de 700 MHz y 3,5 GHz. (Jácome, 2017)

En Perú se está planeado este proceso para 2020. En Colombia y en Argentina, como en otros países de la región, por ahora solo se han hecho pruebas de la tecnología. Pero aún falta licitar espectro para el 5G, que es un paso esencial para el despliegue de este tipo de tecnología, tal como se mencionó anteriormente. (Jácome, 2017)

Para el 5G se necesita más espectro a valores razonables. Se debe que utilizar el espectro como herramienta de inclusión y de desarrollo; y no como herramienta de recaudación. Por otro lado está el tema impositivo. En muchos países de América Latina, la industria móvil tiene una tasa hasta un 50% mayor que en otras industrias. (Jácome, 2017)

Los operadores tienen mucha carga tributaria específica para el sector y eso quita la capacidad de hacer inversión. Y por último hay que apuntar al despliegue de infraestructura, porque el 5G va a requerir más antenas: estaciones base macro (torres) así como celdas pequeñas (small cells) que necesitarán una serie de frecuencias de espectro que deben estar libre de interferencias. (Jácome, 2017)

Adicionalmente, estas antenas deberán ser conectadas a su vez con redes troncales de alta velocidad, por lo que también se requerirán grandes despliegues de fibra óptica. Esto refleja que el despliegue de 5G necesitará de un esfuerzo conjunto de los sectores público y privado, y enormes inversiones por parte de los operadores de redes. (Jácome, 2017)

En síntesis, para que el 5G llegue se necesita licitar espectro, sumar inversión y generar un modelo de negocios que resulte sustentable para los actores involucrados y que se propicie la inversión. A esto hay que añadirle la llegada de dispositivos preparados para esta tecnología. Y si bien esto está comenzando a suceder paulatinamente, como por ejemplo a través de teléfonos móviles 5G que se presentaron en los últimos meses, todavía falta un trayecto por recorrer. (Jácome, 2017)

Los especialistas consultados creen que el 5G podría llegar a la región, de manera limitada, a partir de 2021 o 2022, sin embargo recién después alcanzaría una masa crítica en la región. Según la GSMA, se prevé que en 2025 habrá 1300 millones de conexiones 5G, pero esto dependerá de que los operadores tengan acceso a un espectro suficiente. (Jácome, 2017)

**Figura N° 2.8 Rangos de Frecuencias para 5G.**

Designación de los Rangos de Frecuencias	Rangos de Frecuencias Correspondientes
FR1	450 MHz – 6.000 MHz
FR2	24.250 MHz – 52.600 MHz

**Fuente:** Jácome, 2017.

## **2.5. TECNOLOGÍA 5G**

### **2.5.1. Arquitectura de la Tecnología 5G**

#### **2.5.1.1. Requerimientos Claves de 5G**

El 3GPP reúne un conjunto de organizaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC) encargadas de definir los estándares de telecomunicaciones a nivel mundial. Este proyecto cubre las tecnologías de redes de telecomunicaciones móviles, incluido el 5G. Las especificaciones abarcan todas las áreas del sistema, incluidos el acceso radio, la red de transporte principal y las capacidades de servicio. También incluye estudios para el acceso no radio a la red central y detalles de interoperabilidad con redes no licenciadas como la WiFi. (Pérez, 2019)

Se trabaja en paralelo en versiones o releases que se encargan a grupos de trabajo específicos llamados Grupos de Especificación Técnica (TSG, Technical Specification Groups). De esta forma la evolución es constante y se abren nuevos frentes de trabajo a la vez. Las primeras especificaciones sobre la Nueva Radio (NR, New Radio) 5G comenzaron con la versión 14 en marzo de 2016, donde se estudiaron los requerimientos para el 5G. (Pérez, 2019)

Las versiones 15 y 16 representan las dos fases de trabajo del 3GPP hacia el 5G donde quedarán completamente definidos los requisitos radio del terminal de usuario y de banda base, y el procedimiento para pruebas de funcionalidades y características. La versión 15 estaba planificada para ser acabada en septiembre de 2018, pero con la finalización de la versión 14 en junio de 2017, se aceleraron los trabajos del Grupo RAN del 3GPP y se entregó (congeló) el primer TSG en diciembre

de 2017 referido al modo No Independiente (NSA, Non Stand Alone). El modo Independiente (SA, Stand Alone) se completaría en Septiembre de 2018, pero también se completó a principios de Junio de 2018. A inicios de 2018 se comenzó la versión 16 que finalizará a finales de 2019. (Pérez, 2019)

Dentro de lo que pretende abarcar con 5G existe una necesidad latente de poder acelerar la prestación de servicios para todos los sectores (mercados) interesados, ya que, dicha necesidad de apoyar a todos estos mercados verticales podrá simplificar la provisión que estos demandan en lo que concierne a marcos arquitectónicos avanzados para el correcto procesamiento y posterior transporte de la información que se maneje. Este tipo de soluciones que pretenden darse con 5G representan una clara evolución frente a las tecnologías antecesoras, puesto que, estas requieren no solo mejoras en la red sino que también requieren una compleja integración de cómputo e infraestructura de almacenamiento. (Pérez, 2019)

Uno de los requisitos para el 5G es la posibilidad de soportar un rango amplio de frecuencias y en particular en bandas milimétricas, conocidas como mmWaves. Dado que el acceso radio para LTE y HSPA no ha sido diseñado para ser optimizado en bandas de frecuencias milimétricas, el 3GPP en las versiones 15 y 16 introduce una tecnología de acceso NR para el 5G la cual será lo suficientemente flexible para soportar no sólo las bandas menores a 6 GHz sino también frecuencias de hasta 100 GHz. (Pérez, 2019)

Los estudios apuntan a desarrollar finalmente una tecnología y una red de acceso NR para satisfacer una amplia gama de casos de uso que son agrupados en tres grupos: Banda ancha móvil mejorada (eMBB), comunicaciones tipo máquina MTC masivo (mMTC) y comunicaciones de baja latencia ultra confiables (URLLC). Dicha agrupación radica en los requerimientos detectados para cada caso, como pueden ser la capacidad o la latencia. (Pérez, 2019)

**Figura N° 2.9 Nuevos escenarios de uso del 5G.**



Fuente: Pérez, 2019.

### 2.5.1.2. Arquitectura Física

Un desafío importante en las redes móviles 5G es la integración eficiente de celdas pequeñas (small cells) en las redes de macroceldas, a esta integración se la denomina “Redes Heterogéneas” que se integra utilizando Ethernet como una plataforma de transporte común. (Pérez, 2019)

En 5G, la red de acceso fijo conecta el enlace de radio con la red principal. Estos incluyen enlaces fijos como: fibras dedicadas, coaxial y fibras ópticas de plástico, junto con alternativas inalámbricas tales como enlaces de micro ondas y ondas milimétricas. El satélite también podría considerarse como tecnología de backhaul, teniendo en cuenta su uso reducido debido al aumento de la latencia. (Pérez, 2019)

Es intuitivo que 5G apunte a la integración perfecta de usuarios fijos y móviles a través de tecnologías convergentes fijas e inalámbricas. Un ancho de banda de 20 GHz, la adaptación del enlace de frecuencia selectiva y la multiplexación de polarización son ideas actuales para alcanzar más de 100 Gbps por longitud de onda en un futuro. El reto principal es proporcionar las múltiples velocidades de datos de 100 Gbps requeridas para 5G a un coste suficientemente bajo alrededor de 10 – 20 Km. Esto ya se está observando en las investigaciones recientes, aprovechando los

recientes desarrollos para las interconexiones dentro de los centros de datos y extendiendo su alcance. (Pérez, 2019)

Para poder soportar las diferentes aplicaciones, como eMBB, URLLC y MTC usando la misma tecnología 5G, se ha hecho necesario evolucionar la capa física a un modelo flexible y escalable. Se han modificado una serie de parámetros como el tamaño del Espaciado de Subportadoras (SCS, Subcarrier Spacing), el Prefijo Cíclico (CP, Cyclic Prefix) para OFDM y el Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI, Transmission Time Interval). (Pérez, 2019)

El SCS es el ancho de banda que ocupa una subportadora y se representa como  $\Delta f$ . A diferencia de LTE que tiene un SCS fijo de 15 kHz, en 5G el SCS es igual a  $2\mu * 15$  KHz, donde  $\mu$  es un indicador numérico y puede ser 0, 1, 2, 3 o 4 (el 5 soportado en la versión 16). Las subportadoras de 15, 30 y 60 KHz se aplicarán a las frecuencias por debajo de los 6 GHz y las de 60, 120 y 240 KHz se aplicarán a frecuencias por encima de 6 GHz. (Pérez, 2019)

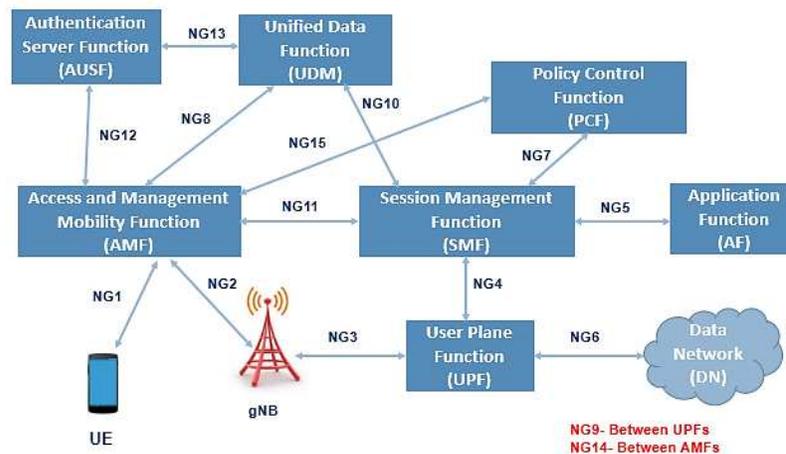
La NR soporta dos longitudes del CP: normal y extendida, al igual que LTE. Las tramas pueden ser de tipo DL (downlink) o UL (uplink) y debido a las distintas numerologías su estructura varía. Sin embargo, como en LTE, mantienen una duración de 10 ms y se dividen en 10 subtramas de 1 ms cada una. (Pérez, 2019)

El número de slots por subtrama si varía en dependencia del valor de  $\mu$ . Cada slot estará formado por 12 o 14 símbolos OFDM, dependiendo si el CP es normal o extendido. Además, los símbolos pueden ser de tres tipos DL, UL o flexible y los slots pueden ser solo DL, solo UL o mixtos. El Indicador de Formato de Slot (SFI, Slot Format Indicator) le indica al equipo de usuario cuando un símbolo es de un tipo u otro. Existen 256 configuraciones o formatos dependiendo de la cantidad y disposición de símbolos (DL, UL, flexible) que haya en cada slot. Las configuraciones de la 56 a la 254 están reservadas y en la 255 el UE determina el formato del slot. (Pérez, 2019)

También existen los mini slots que pueden tener 2, 4 o 7 símbolos y se emplean para aplicaciones que requieren muy baja latencia como URLLC, para permitir la

coexistencia con LTE, por ejemplo, mediante el uso de subtramas de Red de Frecuencia Simple para Servicios de Transmisión Multimedia (MBSFN, Multimedia Broadcast Services Single Frequency Network) de LTE para NR, o para compatibilidad con espectro no licenciado. (Pérez, 2019)

**Figura N° 2.10 Arquitectura conceptual de la red 5G.**



Fuente: Pérez, 2019.

En la arquitectura mostrada en la anterior figura, se identifican los siguientes componentes:

**Función de Servidor de Autenticación (AUSF, Authentication Server Function).** Actúa como un servidor de autenticación, basado en EAP. Es decir, equivale a parte del HSS del EPC.

**Administración de Datos Unificados (UDM, Unified Data Management).** La identificación y autenticación en 5G se puede basar en el IMSI, o bien en identidades no IMSI. UDM soporta la generación de las credenciales de Acuerdo de Autenticación y Claves (AKA, Authentication and Key Agreement), el manejo de la identificación del usuario, la autorización de acceso y la gestión de suscripciones. Es decir, equivale a parte del HSS de EPC.

**Función de Control de Políticas (PCF, Policy Control Function).** Su misión es proporcionar las políticas para el control de recursos de la red 5G. Para obtener la información de suscripción utiliza el UDM. Es una evolución del PCRF de EPC.

**Función de Administración de Acceso y Movilidad (AMF, Access and Mobility Management Function).** Entre sus principales funciones están la gestión del registro, la gestión de la conexión, la gestión de movilidad y gestionar varios aspectos relacionados con la seguridad y la autorización de los accesos. AMF era parte de la funcionalidad de MME en EPC.

**Función de Administración de Sesión (SMF, Session Management Function).** Soporta la gestión de sesiones (establecimiento, modificación y liberación), la gestión y asignación de las IP de los equipos de usuario, la selección y control de la función UPF, la terminación de la señalización NAS (Non-Access-Stratum) relacionada con la gestión de sesiones, notificación de datos de bajada, etc. SMF tiene parte de la funcionalidad de MME y PGW en EPC.

**Función del Plano de Usuario (UPF, User Plane Function).** Soporta el reenvío y enrutamiento de paquetes, la inspección de paquetes, el manejo de calidad de servicio, etc. También actúa como un punto de interconexión a la red de datos y el punto de anclaje de movilidad entre y dentro de las Tecnologías de Radio Acceso (RAT, Radio Access Technologies). El UPF tiene parte de la funcionalidad del SGW y PGW en EPC.

**Función de Aplicación (AF, Application Function).** Es equivalente al AF en EPC, soportando la influencia de la aplicación en el enrutamiento del tráfico, acceso al NEF e interacción con el PCF para el control de políticas de usuario.

Por otro lado, otras funciones de red son nuevas, como las relacionadas con el concepto de segmentación de red (por ejemplo, NSSF), o a la propia arquitectura SBA (por ejemplo, NEF y NRF):

**Función de Selección de Segmentos de Red (NSSF, Network Slice Selection Function).** Soporta la selección de instancias de segmentos de red para servir al UE. El mismo UE puede estar conectado a distintas "network slices".

**Función de Exposición de Red (NEF, Network Exposure Function).** Se trata de una pasarela de Interface de Programación de Aplicación (API, Application Programming Interface), que soporta la exposición de capacidades y eventos de red, la provisión segura de información desde aplicaciones externas a la red 3GPP y la traslación de información interna y externa.

**Función de Repositorio de FR (NRF, (Network Function) Repository Function).** Soporta la función de descubrimiento de servicios y mantiene el perfil de funciones de red e instancias de funciones de red disponibles.

## **2.5.2. Capa Física de 5G**

### **2.5.2.1. Codificación Fuente**

Cuando se codifica una señal de información en una señal digital se obtiene otra señal que en muchos casos está correlada entre sí y algunos bits o cadenas de bits son mucho más probables que otros. Con la codificación fuente se evita que sean transmitidos más bits de los que son estrictamente necesarios para una recepción de la señal satisfactoria. (González, 2016)

### **2.5.2.2. Codificación Canal**

La codificación canal consiste en aplicar a la señal transmitida una serie de transformaciones con el fin de evitar los errores producidos por los desvanecimientos en la señal captada en el receptor. Con ello se pretende conseguir un nivel de señal adecuado para obtener una relación señal a ruido suficiente que permita recuperar la información sin errores. (González, 2016)

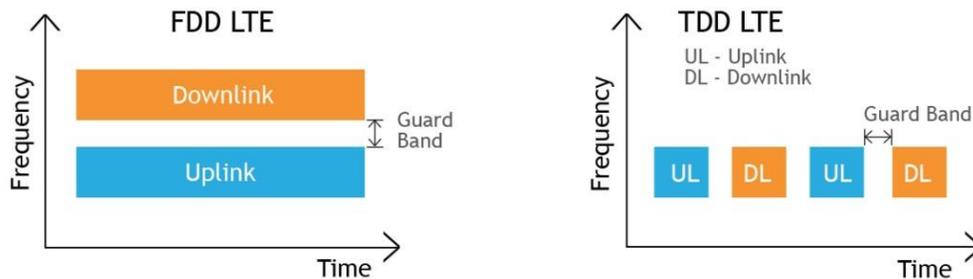
### **2.5.2.3. Métodos de Duplexado**

El duplexado es la capacidad de un sistema de mantener una comunicación bidireccional de manera simultánea. (González, 2016)

- **Duplexado por División de Tiempo (TDD, Time Division Duplexing).** Consiste en separar las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre la misma frecuencia. (González, 2016)

- **Duplexado por División de Frecuencia (FDD, Frequency Division Duplexing).** El transmisor y el receptor mantienen comunicaciones simultáneas en diferentes canales. (González, 2016)

**Figura N° 2.11 Métodos de duplexado FDD y TDD.**



**Fuente:** <https://www.wiserepeater.com/4g-lte-bands-and-frequencies-tdd-fdd-lte>

- **Full-Dúplex.** Permite a un dispositivo inalámbrico transmitir y recibir datos de forma simultánea en la misma banda de frecuencia. Aumenta teóricamente la capacidad los sistemas inalámbricos en un factor de dos. Asimismo, mejora la latencia de mecanismos de retroalimentación y proporciona seguridad en la capa física, entre otras ventajas. En full dúplex, la señal recibida sufre una fuerte interferencia producida por la señal transmitida en el mismo nodo. Por lo tanto, el desafío clave en la realización de un sistema dúplex completo es cómo suprimir la auto-interferencia, especialmente antes del amplificador de bajo ruido. (González, 2016)
- **Flexible Dúplex.** Es la capacidad de la red de elegir una técnica u otra de duplexado en función de los requisitos del entorno y del servicio. (González, 2016)

En la era 5G, FDD seguirá siendo el principal esquema de duplexado en bandas de frecuencias inferiores. Sin embargo, TDD jugará un papel más importante en las bandas de frecuencia por encima de 10 GHz dirigidas a los despliegues de alta densidad de usuarios. Para alcanzar su pleno potencial, 5G debe, por tanto, permitir la asignación flexible y dinámica de los recursos de transmisión TDD. Esto está en contraste con las tecnologías móviles actuales basados en TDD, incluyendo TD-LTE,

para los que existen restricciones en las configuraciones de DL/ UL. (González, 2016)

#### **2.5.2.4. Técnica de Acceso Múltiple NOMA**

**Acceso Múltiple No Ortogonal (NOMA, Non Orthogonal Multiple Access).** Básicamente, NOMA permite interferencias controlables por la asignación de recursos no ortogonales a costa de un aumento tolerable en complejidad del receptor. Las ventajas son las siguientes: (González, 2016)

- ✓ Mejora considerable de la eficiencia espectral.
- ✓ Transmisión de baja latencia: OFDMA es una transmisión basada en que un usuario tiene que enviar una petición de planificación de la estación base en un primer momento. Lo que sucede es que, basándose en la petición recibida, la BS planifica la transmisión en el UL y envía una concesión sobre el canal de DL. Este procedimiento da como resultado en gran latencia y alto coste de la señalización, que empeora o incluso es inaceptable en el escenario de la conectividad masiva prevista para 5G. Por el contrario, con NOMA se realiza una programación dinámica que provee una transmisión de enlace ascendente libre por lo que se puede reducir drásticamente la latencia de transmisión y la sobrecarga de señalización.

#### **2.5.2.5. Formas de Onda para 5G**

- **Acceso Múltiple de Código Reducido (SCMA, Sparse Code Multiple Access).** Es una técnica de acceso múltiple basado que utiliza tablas de códigos no ortogonales. En SCMA, los bits de entrada se asignan directamente a las palabras de código complejas multidimensionales seleccionadas a partir de un conjunto de tabla de códigos reducidos predefinidos. (González, 2016)
- **Acceso Múltiple por División de Patrones (PDMA, Pattern Division Multiple Access).** En el transmisor, PDMA utiliza patrones no ortogonales, que están diseñados mediante la maximización de la diversidad y la minimización de los solapamientos entre varios usuarios. (González, 2016)

- **Filtro de Banda Multi Portadora (FBMC, Filter Band Multi Carrier).** Tiene muchas similitudes con OFDM, sin embargo, en lugar de filtrar toda la banda como en el caso de OFDM, FBMC filtra cada subportadora individualmente. Además, no tiene un prefijo cíclico, lo que supone un nivel muy alto de eficiencia espectral. Los filtros de cada subportadora son muy estrechos, así que requieren constantes de tiempo largo y, como resultado, los símbolos individuales se superponen en el tiempo. Para lograr ortogonalidad, se utiliza offset-QAM como esquema de modulación. (González, 2016)
- **Filtrado Universal Multi Portadora (UFMC, Universal Filtered Multi Carrier).** Se diferencia de FBMC en que, en lugar de filtrar cada subportadora de manera individual, UFMC divide la señal en un número de sub-bandas que posteriormente son filtradas. Como en FBMC, UFMC no necesita un prefijo cíclico, aunque puede ser utilizado para mejorar la protección contra la interferencia entre símbolos. (González, 2016)
- **Multiplexación por División de Frecuencia Generalizado (GFDM, Generalised Frequency Division Multiplexing).** Es una técnica de transmisión de múltiples portadoras flexible que tiene muchas similitudes con OFDM. La principal diferencia es que las portadoras no son ortogonales entre sí lo que proporciona un mejor control de las emisiones fuera de banda y la reduce la relación entre la potencia de pico y la potencia media. (González, 2016)

#### 2.5.2.6. Múltiples Antenas para 5G

La tecnología de múltiples antenas (MIMO) consiste básicamente en incrementar el número de antenas en el transmisor y en el receptor. Con ello se consigue que la señal viaje por distintas rutas y así se mejora rendimiento en términos de velocidad de datos y de fiabilidad enlace. (González, 2016)

Con MIMO Masivo, se pueden obtener antenas compuestas de hasta cientos o miles antenas independientes entre sí, lo que supone un aumento de varios órdenes de magnitud que los sistemas actuales 4G (típicamente 4 a 8 antenas como máximo). (González, 2016)

Con este sistema, se consiguen antenas capaces de modificar el diagrama de radiación en determinadas direcciones. De hecho, estas antenas son capaces de centrar toda la energía de la señal en regiones cada vez más pequeñas de espacio. El resultado son tres importantes ventajas: (González, 2016)

- Por la ley de los grandes números, la aleatoriedad del canal inalámbrico introducido es más predecible conforme se va aumentando el número de antenas.
- Cuando el número de antenas de transmisión es notablemente mayor que del número de usuarios, el rendimiento del sistema mejora en gran medida debido a la segmentación del espacio conseguida con beamforming.
- Puede mejorar la eficiencia energética dada la baja tasa de bits erróneos en recepción.

Sin embargo, surge el problema del incremento significativo de la complejidad del hardware y el consumo de energía debido al procesamiento de la señal en ambos extremos. Asimismo, la conformación de haz o beamforming es una técnica de procesamiento de señales utilizado en redes de antenas tales como antenas MIMO. Esto se consigue mediante la combinación de elementos en una red en fase de tal manera que las señales en ángulos particulares experimentan una interferencia constructiva, mientras que otros experimentan una interferencia destructiva. Beamforming se puede utilizar tanto en la transmisión y recepción de extremos con el fin de lograr la selectividad espacial. (González, 2016)

## **2.6. ETAPAS EN EL DESPLIEGUE DE UNA RED 5G**

Para que se realice el despliegue de una red 5G, primeramente se deben considerar ciertos elementos básicos en su planificación. A continuación, se analizarán los principales elementos y su análisis respectivo para el diseño propuesto de la red. La tarea de planificación, a pesar de su gran componente técnico, debe considerarse como una actividad interdisciplinaria, dado que supone la confluencia de diversos conocimientos para desarrollar una red inalámbrica que satisfaga las necesidades de la empresa y los usuarios. (Torrico, 2009)

Aunque la planificación de una red inalámbrica esta tradicionalmente asociada con el área de ingeniería de una empresa, en realidad se trata de una actividad colectiva que requiere la acción de varios equipos de trabajo, con diversas competencias y provenientes de distintas áreas dentro la empresa. Además de las áreas de ingeniería, se requiere de la asistencia de las áreas de Marketing, Ventas, Legal, Regulatoria, Finanzas y Sistemas, por ejemplo. Como el presente proyecto es de carácter netamente técnico, se dejarán de lado ciertos conceptos relacionados con las utilidades y la parte comercial, pero se mencionarán los procesos para soporte de futuros diseños que sí comprometan el ámbito económico y comercial. (Torrigo, 2009)

A continuación, se indican las principales etapas para llegar al despliegue de una red 5G: (Torrigo, 2009)

1. Establecimiento de los Objetivos de Capacidad y Cobertura.
2. Obtención de Datos Geográficos Detallados.
3. Realización del Diseño Preliminar de la Red.
4. Obtención de Espectro para Pruebas.
5. Realización de un Test Drive Preliminar.
6. Realización de un Requerimiento de Propuestas a Proveedores.
7. Realizar el Diseño Conjunto de la Red.
8. Ubicación de las Estaciones Base.
9. Realización de los Test Drive de los Sitios Preseleccionados.
10. Supervisión y Aprobación de Sitios.
11. Despliegue y Construcción de la Red.
12. Instalación y Verificación de los Equipos.

**13. Optimización de la Red.**

**14. Realización de un Test de Aceptación.**

Esta lista, aunque muy puntual, pretende considerar todos los elementos que un operador debe tener en cuenta para el despliegue de una red 5G, desde su concepción hasta su lanzamiento comercial. Naturalmente, si el operador ya tiene experiencia en otras redes, algunas de estas etapas pueden ser obviadas. Esto también se debe a que muchas veces no se cuenta con el suficiente tiempo para invertir en dichas tareas. (Torricono, 2009)

### **2.6.1. Establecimiento de los Objetivos de Capacidad y Cobertura**

Durante el proceso de planificación, existen algunas acciones que el operador puede desarrollar de manera autónoma, anticipándose al trabajo del proveedor tecnológico. De esta manera, se podrá establecer un criterio preliminar que facilitará la toma de decisiones y la cooperación durante las etapas más avanzadas del proyecto. Al tomar la decisión de desplegar una red 5G, es preciso responder a un cierto número de interrogantes. Por ejemplo, que modelo de negocios se busca sostener, que tipo de clientes se van a atender, que servicios serán prestados y cual será la dinámica de crecimiento de la red. En este caso, el modelo que es generado para un área urbana, como La Paz, es una red 5G pensada para poder dar mayor cobertura a la zona y prever un crecimiento tecnológico en la misma. (Torricono, 2009)

Todos estos datos permiten enfocar correctamente la planificación, dimensionado de la cantidad de equipamiento necesario y su localización más adecuada para ofrecer el servicio de transmisión de datos en la actualidad y a futuro. De esta manera, todos los involucrados en el proyecto, marketing con el plan de negocios, finanzas gestionando los fondos, asuntos de regulación y desarrollo obteniendo los respectivos permisos adecuados, etc., pueden hacer su contribución para el mejor desarrollo del mismo o anticipar posibles restricciones que afectarán otras áreas. (Torricono, 2009)

El área de asuntos de regulación y desarrollo es posiblemente una de las áreas más críticas a ser consideradas, debido al impacto de las exigencias regulatorias en el

despliegue de la red. Además, esta área esta encargada de temas como, altura limite para las antenas, proximidad de los edificios en núcleos urbanos, elementos de seguridad aérea que pueden alterar la topología óptima de la red. (Torrigo, 2009)

Asimismo, como ya se mencionó, serán los encargados de velar por la disponibilidad del espectro asignado, presentando ante las autoridades regulatorias, como la ATT (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes) en Bolivia, las solicitudes de provisión o revocación de las licencias asignadas previamente y/o los reclamos por la ocupación clandestina de la banda o interferencias que puedan surgir por otros servicios de telecomunicaciones. (Torrigo, 2009)

En lo concerniente a la cobertura del sistema, el área comercial puede definir sus requerimientos geográficamente, que se traduce en segmentos de la población clasificadas en zonas de la ciudad de La Paz por macrodistritos. Esto impactara directamente sobre la planificación, porque la propagación de la señales de RF cambia según la morfología del lugar y en especial como el que presenta la ciudad de La Paz. (Torrigo, 2009)

Es importante que las áreas comerciales de la empresa conozcan las condiciones y limitaciones para lograr una cobertura adecuada en cada morfología, para mejorar sus decisiones. Como este proyecto es de diseño se dará por considerado dicho aspecto comercial y el mismo estará enfocado en la parte técnica del diseño, asumiendo requerimientos y capacidades para la zona de análisis. (Torrigo, 2009)

Una vez definida la región a cubrir, se requiere el conocimiento de la distribución aproximada de los usuarios y qué tipo de uso se va a demandar de la red. Con estos datos establecidos a priori por el área de ventas o marketing, se podrá hacer una estimación del tráfico generado. Como se verá a continuación en el diseño, el aspecto de estimación de tráfico será analizado y se tendrá una proyección a futuro del alcance de la red 5G. (Torrigo, 2009)

Por ultimo, es conveniente definir el tipo de crecimiento en la demanda que se espera tener en el futuro. A través de la práctica y experiencia de algunas redes 5G

desplegadas alrededor del mundo, es conveniente establecer o anticipar como será el crecimiento en los próximos años. Este crecimiento puede ser de tipo geográfico con más áreas a cubrir o de capacidad, es decir, una mayor cantidad de clientes o de tráfico dentro del área urbana establecida previamente. Las consideraciones de capacidad deberían volcarse en una tabla por año, indicando la cantidad de clientes según la morfología o zonas de la ciudad de La Paz. Todos los elementos de capacidad y cobertura considerados hasta ahora, serán incluidos en las guías generales de diseño del proyecto. (Torrice, 2009)

### **2.6.2. Obtención de Datos Geográficos Detallados**

La planificación de la red 5G requiere de información geográfica precisa para tener una idea aproximada de que porcentaje de la población de la ciudad de La Paz se encuentra distribuida en sus diferentes zonas, y que tipo de morfología existe en cada caso. Por esta razón es que a continuación se verán los cuadros de población que presenta la zona de análisis ciudad de La Paz hasta el año 2025. (Torrice, 2009)

La información geográfica detallada de la zona donde se ha definido desplegar la red 5G debe incluir información del terreno (altura respecto del nivel del mar, características), así como tipo y cantidad de obstáculos (árboles, construcciones a gran altura, etc.). Para un planeamiento adecuado, los datos geográficos deben ser actualizados y, en el caso de las zonas urbanas, es deseable que tengan una resolución de al menos 20 metros. El resultado consolidado será un mapa, que al sintetizar la información geográfica de alturas y obstáculos junto con la información de ubicación de los clientes, va a brindar una idea aproximada de cómo será la cobertura necesaria. (Torrice, 2009)

La cobertura que se proponga debe tener como objetivo proveer servicio dentro de hogares y al aire libre, así como también para usuarios que se encuentren dentro de vehículos de transporte en movimiento. Cada una de estas áreas se puede identificar con diversos colores con las herramientas de planificación. (Torrice, 2009)

### **2.6.3. Realización del Diseño Preliminar de la Red**

Al considerar el diseño de la red debe tenerse en cuenta algunas características de la propagación RF, que imponen restricciones a la topología y al uso del espectro disponible. Como se sabe, la radiofrecuencia no conoce de límites geográficos o políticos. Si bien 5G ofrece grandes beneficios por su gran cobertura, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar invadir áreas no deseadas o interferir con otros servicios de telecomunicaciones. (Torrice, 2009)

Respecto a las configuraciones de los sitios es indispensable la referencia al tipo de antenas a utilizar y las opciones para su ubicación. Lo tradicional en las redes 4G LTE es el uso de las celdas de tres sectores, aspecto que será tomado también para 5G. También, es necesario definir el tipo de antena que se prefiera, según sus características de ganancia y radiación horizontal y vertical. (Torrice, 2009)

Las antenas para las radiobases pueden localizarse sobre edificios o torres en las ciudades, y eventualmente, pueden ser compartidas con otros operadores. Esto depende fundamentalmente de las disposiciones reglamentarias, que permita o no el uso de ciertas estructuras o lugares, o que fomente o desestime la concentración de antenas. En todo caso, las eventuales reglamentaciones de los entes regulatorios como la ATT, deben ser consideradas durante el proceso. (Torrice, 2009)

Por último, dado que el espectro radioeléctrico es un recurso escaso, debe tenerse en cuenta cual es el espectro efectivamente disponible, de manera tal de poder asignarlo de forma adecuada según las necesidades de cobertura y capacidad. En estas consideraciones, debe tenerse especial cuidado respecto a las interferencias generadas por sistemas adyacentes y a la aparición de interferencias ocasionales, dado que estos fenómenos pueden afectar críticamente la cobertura y la capacidad del sistema inalámbrico en general, pero más específicamente en 5G. (Torrice, 2009)

Al inicio de la planificación resulta apropiado utilizar la planilla de cálculo. Esta planilla de cálculo se alimentará de algunos valores conocidos, como la superficie del terreno que se pretende abarcar y la población permanente o transitoria que se desea atender. Luego, con la asistencia de otras áreas de la red de la empresa, se

puede estimar el tipo de servicios a proporcionar por la red 5G, y proceder al primer cálculo de la red. (Torricono, 2009)

Con este primer ejercicio sobre la planilla de cálculo (relativamente simple y económico) se puede tener una idea aproximada del número de celdas que se va a necesitar para el proyecto. Además, éste permitirá aclarar a otras áreas de la compañía acerca de la envergadura del proyecto, en función de las premisas establecidas a priori. (Torricono, 2009)

Como resultado de este ejercicio, puede ocurrir que las áreas financiera o de marketing encuentren excesiva la cantidad de celdas necesarias para atender una demanda inicial, y se dará lugar a un proceso interactivo, sea modificando las zonas, penetración dentro de la señal dentro de los hogares, etc., que permitirá consensuar un primer proyecto entre las diferentes áreas de la empresa, así como un modelo de crecimiento o metodología de despliegue. (Torricono, 2009)

La metodología de despliegue debe estar alineada con otros objetivos del operador: rentabilidad, crecimiento y nivel de inversión. Éstas, a su vez dependerán de las circunstancias externas al operador: las condiciones económicas, del país, la disponibilidad del espectro electromagnético, las necesidades de la población, la actividad de la competencia, etc. (Torricono, 2009)

Algunas opciones de despliegue son las siguientes: (Torricono, 2009)

- Construcción de la nueva red 5G para proveer una cobertura básica, agregando nuevos sitios para incrementar la capacidad mas tarde.
- Construir sitios solo donde se tenga certeza de clientes y agregar nuevos sitios mas tarde.
- Planificar la red con sitios definitivos. La necesidad de capacidad adicional será atendida con nuevas portadoras.

Tras el análisis a través de una planilla de cálculo, se procede a establecer una primera aproximación con los datos, para lo cual se utilizarán tres elementos: (Torricon, 2009)

- Lista de sitios de fácil acceso.
- Mapa de distribución de la demanda.
- Medición de la propagación de las señales de 5G.

La lista de sitios de fácil acceso son aquellos sitios de fácil obtención, debido a que ya existen torres, utilizadas por la misma empresa, o compartidas con otras operadoras. También, se puede recurrir a una lista de edificios altos, estructuras o cerros elevados donde se pueden colocar las radiobases. (Torricon, 2009)

El mapa de distribución de la demanda es básicamente un mapa sectorizado donde se identificarán las distintas zonas en la ciudad de La Paz de acuerdo a las necesidades de tráfico. En general, estos mapas se colorean de acuerdo a la cantidad de Erlangs/Km<sup>2</sup>, que se considerarán para el desarrollo de la red 5G. El mapa de distribución de la demanda puede desarrollarse internamente o se obtiene de un proveedor que haya efectuado un estudio de mercado. (Torricon, 2009)

El tercer elemento a comprobar es el comportamiento de la propagación de las señales dentro la red 5G de acuerdo a las características morfológicas del área a cubrir. A tal efecto, se realizarán una serie de mediciones sobre vehículos en movimiento (Test Drive). (Torricon, 2009)

#### **2.6.4. Obtención de Espectro para Pruebas**

Naturalmente, las mediciones o test drive a bordo de un vehículo, son pruebas donde existirá radiación de potencia, y por lo tanto, se necesitarán obtener los permisos adecuados de las autoridades regulatorias correspondientes, como la ATT. Estos permisos deben gestionarse con la suficiente antelación por dos motivos. En primer lugar, para evitar demoras para el lanzamiento comercial, pero además para asegurar que al efectuar las primeras mediciones para la red 5G no se vean

afectadas o interferidas por las señales de radiofrecuencia de otras operadoras. (Torricon, 2009)

#### **2.6.5. Realización de un Test Drive Preliminar**

Conocidos los sitios a utilizar y la demanda de tráfico, se procede a instalar las antenas de prueba, especialmente donde resulte crítico obtener un desempeño adecuado. En esta parte del proyecto, el área de ingeniería de la empresa trabaja junto al área legal encargada de obtener los respectivos permisos para colocar las antenas en edificios, cerros y estructuras afines. Cada vez que un sitio debe ser desplazado por falta de permisos, será necesario modificar la planificación de la red. (Torricon, 2009)

Como mínimo, se deberá realizar un Test Drive para cada tipo de morfología, a efectos de comprobar las condiciones de propagación. Las mediciones se consolidan luego de uno o varios circuitos de recorrido y al término de éstos, se procesan y analizan. La información básica es el nivel de la señal que el móvil recibe desde la estación base. El conjunto de las mediciones reales de campo permite comprobar si la señal de 5G se comporta de acuerdo a las estimaciones originales. (Torricon, 2009)

Frente a dispersiones entre los valores estimados y los reales, se debe ajustar el modelo de propagación, con el propósito de que la simulación que se está realizando en la computadora coincida lo más posible con las medidas reales de la prueba de campo. Una vez alcanzado un modelo aproximado, se puede comprobar su validez modificando la disposición de los sectores de las radiobases y las inclinaciones del haz electromagnético, y comparando nuevamente los valores de las predicciones con los resultados de un nuevo Test Drive. (Torricon, 2009)

#### **2.6.6. Realización de un Requerimiento de Propuestas a Proveedores**

Cuando se hayan realizado suficientes pruebas en los sitios elegidos, alcanzando satisfactoriamente los objetivos de propagación de señal, capacidad y cobertura, se está en condiciones de realizar un Requerimiento de Propuestas (RFP, Request For Proposal) e invitar a distintos proveedores de equipos de 5G a realizar su propuesta técnica – económica. (Torricon, 2009)

Los proveedores convocados efectuarán sus propias mediciones de acuerdo a los requerimientos especificados por el operador, y responderán a su propia experiencia y características de los productos fabricados. En el caso que se trate de una expansión de red, o el operador ya cuente con un proveedor designado, estos pasos pueden ser evitados. De todas maneras, puede resultar siempre conveniente que el operador tenga su propia estimación antes de solicitar su cotización. (Torrice, 2009)

Las respuestas al RFP son documentos detallados donde el proveedor establece una determinada morfología, cantidad de celdas, costos básicos, costos adicionales en función de las distintas prestaciones opcionales del sistema. El departamento de ingeniería de la empresa analizará los documentos, para efectuar comparaciones y se harán rondas de consultas y negociaciones, que pueden incluir cambios en los plazos, en los precios, penalidades, requisitos del test de aceptación, etc. (Torrice, 2009)

Una vez seleccionado el proveedor y acordado las características de la red y las penalidades, es natural que cualquier decisión que pueda afectar la performance de la red deba ser cuidadosamente evaluada por el proveedor. Por ejemplo, el operador puede sugerir los sitios predeterminados o identificados, aunque el proveedor puede aceptar o no tales sugerencias de acuerdo a sus propios criterios y experiencia. (Torrice, 2009)

#### **2.6.7. Realizar el Diseño Conjunto de la Red**

El diseño de una red 5G, requiere que el área de ingeniería del operador esté involucrada a lo largo del proceso de despliegue que realice el proveedor. Uno de los elementos a ser definidos entre el operador y el proveedor es el test de aceptación. Se trata de un documento que establece por escrito cuales son las mediciones que aprueban el desempeño de la red recién instalada. Naturalmente, existirán diferentes puntos de vista: el proveedor quiere instalar y tener la red funcionando cuanto antes, y el operador también, pero con las garantías de que lo hará en forma estable y sin deficiencias. En este proceso de diseño puede ocurrir que el proveedor proponga nuevos sitios o ajustes de acuerdo a las características de sus equipos, para poder complementar con las características del test de adaptación. Estos cambios deben

ser consultados con el operador y reflejados en documentos por escrito. (Torricon, 2009)

#### **2.6.8. Ubicación de las Estaciones Base**

Con el diseño consensuado entre operador de la red 5G y el proveedor seleccionado se empieza la implementación. Para ello se utilizarán los sitios favoritos identificados, pero puede ocurrir que existan modificaciones de último momento por disponibilidad o por costo. En este caso, se debe recalcular la nueva posición en el modelo para verificar cómo éstas afecta al sistema en su conjunto. Es conveniente mantener un continuo seguimiento de la selección de los sitios que permita advertir problemas o cambios para analizar soluciones y consecuencias. Una práctica adecuada, es disponer de una lista de dos o tres alternativas por sitio, en cuya matriz donde se indiquen datos tales como: costo de adquisición, situación de RF, localización, disponibilidad de energía, etc. (Torricon, 2009)

#### **2.6.9. Realización de los Test Drive de los Sitios Preseleccionados**

Con los sitios específicos ya identificados es posible realizar un nuevo Test Drive, que compruebe la validez del modelo de propagación con las mediciones obtenidas. De acuerdo al número total de sitios, se puede seleccionar algunos de ellos para efectuar las pruebas. La elección podrá estar dada por su morfología o por corresponder a un área crítica. En este caso lo fundamental es determinar que cada sitio definido o preestablecido cumpla o alcance con aquellas características de capacidad y de cobertura que se intentan obtener, a efectos de no tener vacíos o huecos de cobertura. (Torricon, 2009)

#### **2.6.10. Supervisión y Aprobación de Sitios**

La supervisión de los sitios se efectúa por un equipo interdisciplinario (personal de las áreas de planificación de red, soporte, selección de sitios, construcciones, instalaciones), que registre y evalúe las necesidades de cada sitio seleccionado. Los operadores experimentados mantienen un manual con fotos, notas y comentarios, que describen la historia del sitio desde su construcción. Se comprueba que resulta

de utilidad para las tareas de mantenimiento y las posibles ampliaciones futuras. Por otro lado, el equipo a cargo de las habilitaciones se encargará de reunir la documentación necesaria (planos, certificados, informes, etc.) para obtener los permisos necesarios. En el caso de que surja una imposibilidad, el equipo interdisciplinario podrá evaluar y sugerir alternativas, utilizando como base la matriz mencionada anteriormente. (Torrice, 2009)

#### **2.6.11. Despliegue y Construcción de la Red**

Con los sitios ya identificados y autorizados se procede a la construcción de los mismos. Este proceso estará a cargo de un constructor civil contratado por el proveedor. El equipo de planificación generalmente no participa activamente de este proceso. (Torrice, 2009)

#### **2.6.12. Instalación y Verificación de los Equipos**

En la medida que los sitios se encuentran en condiciones adecuadas, se inicia el proceso de instalación del equipamiento. Este proceso estará a cargo de un instalador especializado contratado por el proveedor. El equipo de planificación generalmente no participa activamente de este proceso, pero es conveniente hacer un seguimiento del cronograma de instalación. De esta manera, se podrá advertir de cualquier retraso, permitiendo que se puedan adaptar o reprogramar las actividades posteriores. Luego de la instalación del equipamiento es necesario verificar el sitio. Como regla general, es sumamente conveniente que todos y cada uno de los sitios sean visitados y verificados. Eventualmente se puede recurrir a una empresa externa especializada, que verifique cada detalle del sitio: conexiones, estados de los anclajes, energía de alimentación principal y alternativa, etc. (Torrice, 2009)

#### **2.6.13. Optimización de la Red**

Tras la instalación y el encendido de las estaciones base se inician pruebas para verificar que la red se comporta de acuerdo con los parámetros esperados: registro, señalización, generación y recepción de llamadas, Handover, etc. Pero también se inician las tareas de optimización de la red, que continuarán incluso luego del

lanzamiento comercial. El trabajo de optimización de la red que en muchos casos forma parte del contrato de implementación consiste en relevar el desempeño de capacidad y cobertura en diferentes áreas y ajustar parámetros tales como potencia, inclinación de la antena, orientación del sector, etc. para mejorar el funcionamiento, en aspectos que afectan a la capacidad (Ej., exceso de Soft Handover) o a la experiencia de usuario (baja tasa de datos) en el sistema. El área de ingeniería tiene que estar involucrado a lo largo del proceso dado que, cada vez que se procede a ajustar una altura, inclinación u orientación de sector, se altera el mapa de cobertura general. (Torricono, 2009)

#### **2.6.14. Realización de un Test de Aceptación**

Como se mencionó anteriormente, existe un documento final previamente acordado entre operador y proveedor para definir cuándo la tarea de implementación de la red está terminada. Una vez que el proveedor consigue demostrar en base a las mediciones y ensayos realizados que la red se desenvuelve de acuerdo a los parámetros establecidos, el operador firma la aceptación de la red. En este momento, la operación comercial de instalación se culmina (se liberan fondos, etc.) y el proveedor acude en casos de resolver aspectos vinculados a la garantía otorgada por el funcionamiento de los equipos. (Torricono, 2009)

## **CAPITULO III**

### **MARCO PRÁCTICO**

#### **3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto de grado fue desarrollado siguiendo un enfoque cuantitativo y cualitativo, debido a que se basan en la recolección de información y de datos con y sin medición numérica. (SAMPIERI et al., 2014)

Además es transversal, siendo la recolección de datos en un periodo de tiempo determinado, lo que permitió evaluar el estado de la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la ciudad de La Paz. (SAMPIERI et al., 2014)

##### **3.1.1. Métodos de Investigación**

Asimismo, se emplean los métodos analítico y sintético, debido a que analizando los resultados obtenidos del diagnóstico se procedió a optimizar la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS con la propuesta de estrategia de implementación de la red 5G. (SAMPIERI et al., 2014)

##### **3.1.2. Tipo de Investigación**

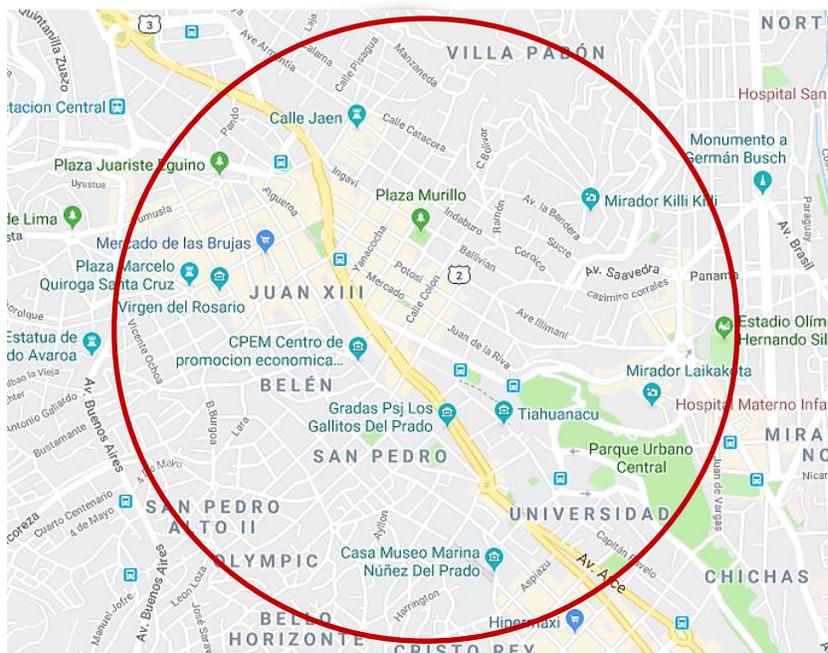
El tipo de investigación es descriptiva y propositiva. Es descriptiva debido a que se realizó una descripción tanto de la actual red móvil 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS, como también de la red 5G. Esta descripción abarca aspectos como: arquitectura, bandas de frecuencia, capa física, regulación, small cells, entre otros. En lo propositivo se desarrolla una propuesta para la futura implementación de la red 5G en la mencionada empresa, que se puso a consideración de la gerencia de planificación técnica de la empresa Nuevatel VIVA PCS. (SAMPIERI et al., 2014)

##### **3.1.3. Muestreo**

La muestra de las mediciones de potencia del servicio 4G LTE de la empresa Nuevatel VIVA PCS se estableció a partir del criterio de que las estaciones base de la empresa se encuentran en posiciones elevadas situadas en las azoteas de los

edificios. La zona central de la ciudad de La Paz presenta una gran concentración de edificaciones de gran altura donde se localizan estaciones base sectorizadas que cubren una amplia área donde se concentra también la mayor cantidad de usuarios que utilizan la red móvil para el tráfico de voz o de datos. El radio de cobertura de las mediciones de potencia que se realizaron en alrededores de la zona central de la ciudad de La Paz se muestra a continuación:

**Figura N° 3.1 Muestreo de las mediciones de potencia.**



Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps, 2019.

#### **3.1.4. Equipo Móvil para la Medición de Potencia**

El equipo necesario para realizar este estudio, consiste de un sistema transmisor (la radiobase LTE) y un sistema receptor (teléfono inteligente con la aplicación Netmonitor instalada), el cual mide el nivel de señal recibida (RSSI). El equipo de medición empleado es el teléfono inteligente de marca Sony Xperia modelo XA2 Ultra, en la banda AWS-1 4G LTE, el cual posee las siguientes características:

- Pantalla | 6" IPS LCD Full HD (1920 x 1080) de 16:9.
- Dimensiones | 163 x 80 x 9.5 mm.

- Peso | 221 gramos.
- Procesador | Qualcomm Snapdragon 630 Octa-core a 2.2 GHz Cortex-A53.
- GPU | Adreno 508.
- Sistema operativo | Android 8.0 Oreo con la capa de Xperia.
- Memoria interna | 32GB / 64GB de memoria interna ampliables con tarjetas micro-SD.
- Memoria RAM | 4GB.
- Cámara trasera | Único sensor de 23 Mpx f/2.3 con flash LED y grabación a 4K.
- Cámara delantera | 16 + 8 Mpx con flash LED con Ultra gran angular. f/2.4.
- Batería | 3580 mAh con carga rápida.
- Conectividad | WiFi, lector de huellas, USB-C, NFC, GPS + GLONASS.

**Figura N° 3.2 Teléfono inteligente Sony Xperia modelo XA2 Ultra.**



**Fuente:** <https://elandroidelibre.espanol.com/2018/05/analisis-del-sony-xperia-xa2-ultra-gigante-notitan.html>

### 3.1.5. Aplicación Gratuita Netmonitor

Para su instalación y utilización, se descarga la aplicación Netmonitor de la página de Google Play Store. Una vez descargada e instalada en el teléfono inteligente se ejecuta la aplicación. Lo primero que mostrará es un resumen de las antenas que se encuentran cerca, así como la intensidad de señal de la estación base a la que se está conectado y la intensidad de señal de las estaciones base disponibles cercanas. También se puede ver el tipo de conexión de datos que se tiene actualmente (LTE,

EDGE, HDSPPA, etc.). En la parte inferior de la aplicación se tienen 3 botones con los que se puede cambiar de pestaña. Si se pulsa sobre el segundo botón se podrá acceder a un historial con todas las antenas con las que se ha conectado anteriormente. Se puede ver la situación de dichas antenas y el tipo de conexión que se tenía en ellas mediante el círculo que aparece a la izquierda de cada entrada. Si se pulsa sobre la tercera pestaña se podrá ver un mapa de la situación de las antenas cercanas más disponibles así como la ubicación de la actual. Con la ayuda de este mapa se podrá buscar la antena que mejor intensidad de señal ofrezca u organizar una ruta en la que no se pierda cobertura.

Por lo tanto, Netmonitor es una buena herramienta que permite conocer de forma sencilla las principales características de las redes móviles. Con Netmonitor también se podrá conocer la operadora real de las antenas a las que se tiene conexión, ya que algunos móviles devuelven un falso resultado a la hora de buscar redes.

### **3.1.6. Técnicas de Recolección de Datos Primarios y Secundarios**

#### **3.1.6.1. Fuentes Primarias**

Las fuentes primarias empleadas para el desarrollo del presente proyecto de grado son: (SAMPIERI et al., 2014)

- Observación directa.
- Mediciones de potencia.
- Entrevistas a funcionarios de la empresa Nuevatel VIVA PCS y de la ATT.

#### **3.1.6.2. Fuentes Secundarias**

Se realizará una revisión documental de: (SAMPIERI et al., 2014)

- Artículos técnicos con datos sobre redes 4G y 5G.
- Proyectos de grado nacionales e internacionales con información a fin al tema.

- Libros con información técnica referida al tema.

## **3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO**

### **3.2.1. Empresa Nuevatel VIVA PCS**

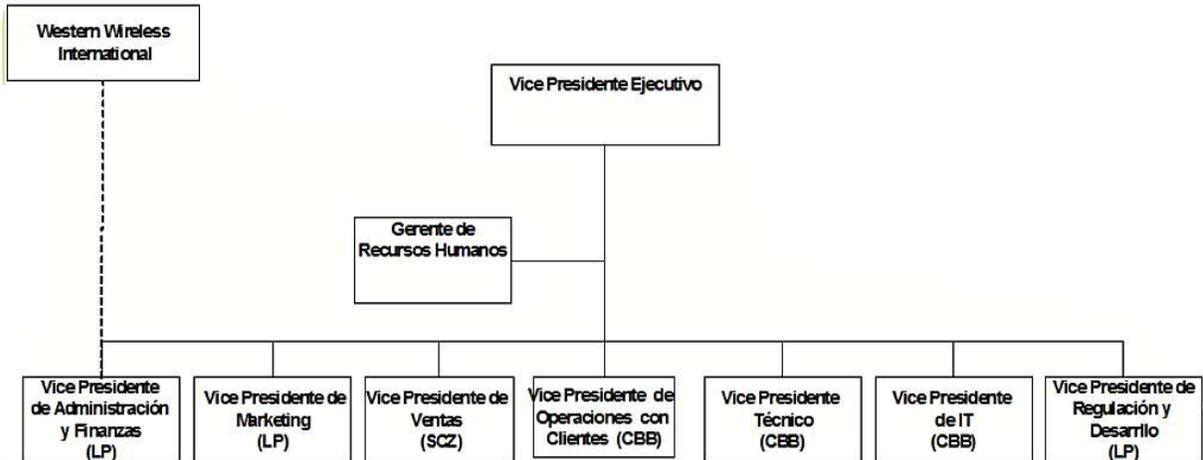
Con el propósito de promover el desarrollo de las telecomunicaciones en Bolivia, la empresa NUEVATEL PCS se fundó en el año 1999 e inició sus operaciones un año más tarde con inversiones de WESTERN WIRELESS de Estados Unidos (71.5%) (Hoy TRILOGY INTERNATIONAL PARTNERS) y COMTECO (28%). trayendo por primera vez al país la tecnología del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile Communications), destinada a entregarles a los bolivianos la posibilidad de comunicarse, mediante una tecnología móvil avanzada. Toda una revolución en el mercado de las telecomunicaciones definió la cultura corporativa: eficiente, transparente y comprometida con sus clientes. Desde entonces, VIVA se ha convertido en la empresa de mayor y más rápido desarrollo del sector, consolidando la red de telefonía móvil GSM, con más de un millón abonados activos; y una red de telefonía pública amplia y con un gran impacto social de Bolivia. (AGETIC, 2018)

Los 45 mil Puntos VIVA (puntos de telefonía pública) llegan al área rural y urbana de todo el territorio nacional, además que incentivan la generación de más de 60 mil empleos directos y una cantidad similar de indirectos. VIVA también compite en el mercado de larga distancia con su código 14. VIVA es una empresa que cree en Bolivia por lo que la totalidad de sus empleados son bolivianos, ha reducido sistemáticamente sus tarifas incrementando la calidad del servicio y, desde sus inicios hasta ahora ha realizado periódicamente grandes inversiones en el país.

A partir de mayo del año 2015 VIVA desplegó su red LTE, cuya oferta comercial contribuye a que los usuarios desarrollen la comunicación vía intercambio de datos. La tecnología 4G LTE de VIVA permite un aumento de la velocidad de navegación en internet y ofrece una gran capacidad de transmisión de datos. Los clientes pueden acceder a esta tecnología a través de un chip VIVA 4G LTE y un dispositivo móvil

compatible, sin necesidad de adquirir bolsas y planes distintos a los que utilizan.  
(AGETIC, 2018)

**Figura N° 3.3 Organigrama general de Nuevatel VIVA PCS.**



Fuente: <https://www.viva.com.bo/>

## Misión

*"En VIVA damos lo mejor de nosotros día a día para brindar al cliente una gran experiencia digital en una empresa socialmente responsable con una marca atractiva."*

## Visión

*"Ser una compañía digital que se adapta al cambio para conectar mejor a las personas."*

## Valores

- Compromiso.
- Trabajo en equipo
- Enfoque en el cliente.
- Resiliencia.
- Creatividad.
- Liderazgo inspirador.

### **3.2.2. Situación del Servicio 4G LTE de la Empresa VIVA en La Paz**

LTE son las siglas de Long Term Evolution que traducido significa Evolución de Largo Plazo, esta tecnología es la sucesora de la 3G y también es conocida como 4G en Bolivia. Es lo máximo que se pudo llegar por el momento en cuanto a tecnología de conexión móvil de Internet en esta parte del continente, por lo menos en cuanto a usuarios particulares se refiere. Esta tecnología de telefonía móvil de banda ancha inalámbrica es la más avanzada del momento y ofrece una conexión y velocidad muy superior a las que en su momento brindaban las redes 2G y 3G. Debido a la rapidez de conexión permite una mejor experiencia del usuario en Internet móvil y por ende mejor rendimiento de aplicaciones de: video, música, juegos en línea, videoconferencias y streaming. La transmisión de datos es mucho más fluida permitiendo visionar contenidos multimedia.

En Bolivia las empresas operadoras telefónicas como Tigo Bolivia y la estatal Entel Bolivia ya brindan la tecnología 4G LTE a sus clientes desde el 2014, sin embargo y a pesar de dejar pasar un poco el tiempo, VIVA no ha querido quedarse fuera de la competencia y es así que desde el 2015 se ha sumado a la nueva era 4G LTE en Bolivia, ofreciendo así este nuevo servicio a sus clientes.

Para poder utilizar la red 4G desde cualquier dispositivo, sea un teléfono inteligente o un CPE para el servicio WiFi Sin Limites de la empresa VIVA, se debe adquirir primeramente el uSIM en la operadora la cuál conectará el equipo celular a la frecuencia de servicio con el que trabaja la operadora elegida. El equipo móvil debe operar en la banda de frecuencias establecida para tal propósito, ya que de no ser así el chip LTE solo funcionará en la red 3G o 2G (EDGE). Para utilizar el servicio de transmisión de datos y navegar en Internet, se necesita cambiar el SIM por uSIM y tener un dispositivo LTE 4G que trabaje en las frecuencias y bandas permitidas por la ATT para los operadores móviles en Bolivia, en este caso la empresa Nuevatel VIVA PCS.

Las bandas para LTE se las denomina como Band Class (BC) o solamente Band o Class, por ejemplo una misma frecuencia puede ser nombrada como BC4, B4 o C4.

La frecuencia en las que trabajan las telefónicas en Bolivia son AWS – SIM nuevo (uSIM):

- VIVA: 2100 MHz bajada, 1700 MHz subida, banda 4.
- TIGO: AWS (B4) y 700 MHz (B17).
- ENTEL: 700 MHz (BC12, BC13, BC17, BC28, BC44).

En la ciudad de La Paz se ha podido comprobar que la velocidad de descarga de datos de la red 4G LTE mucho depende del lugar donde uno se encuentre, así como también en el horario en el que uno se decida conectar a la red, llegando a tener en el mejor de los casos una conexión de descarga de 20 Mbps en promedio, mientras que de subida no llega a superar los 11 Mbps en promedio.

En la zona central de la ciudad de La Paz se podía contar con una mejor conexión de datos, la misma que a lo largo de estos últimos años ha ido bajando, ya que debido a la cantidad de usuarios que se conectan al servicio van saturando las radiobases de la zona y el volumen de usuarios conectados va cada vez más en aumento. A continuación se nombran algunas de las ventajas y desventajas de la tecnología 4G LTE:

#### **Ventajas:**

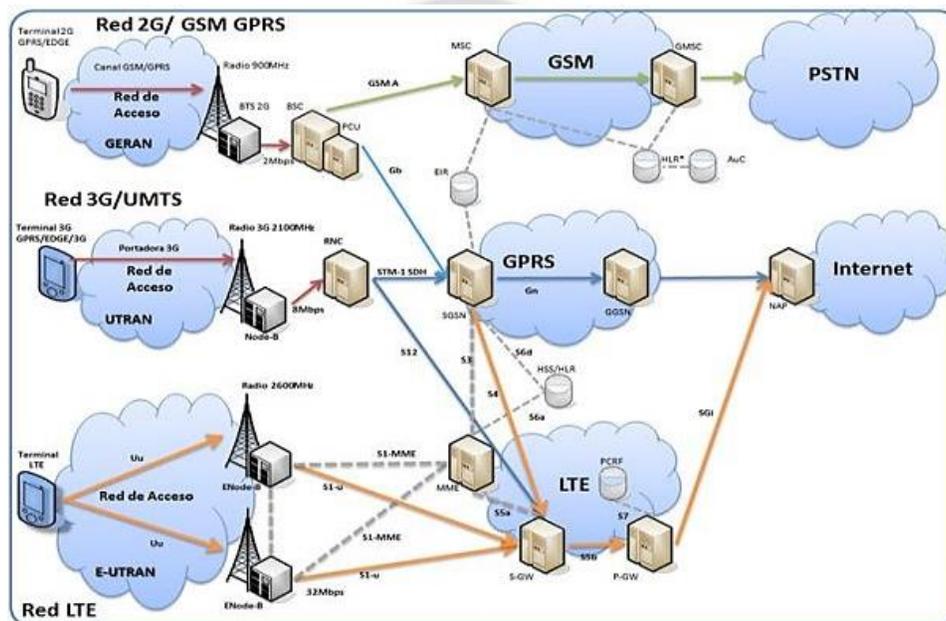
- Conexiones con velocidades superiores a 20 Mbps.
- Equipo portátil, liviano y pequeño.
- El servicio de banda ancha fija LTE brinda una señal WiFi, soportando hasta diez conexiones simultáneas (móviles, Laptops, PCs, Tablets, etc.).
- La batería del módem LTE se puede usar para cargar el celular, consumiendo solo el 50% de la batería del mencionado módem.
- Diferentes planes de tarifas para líneas de telefonía móvil pre pago y post pago.
- Utiliza 2 frecuencias, una para descarga y otra para subida.

#### **Desventajas:**

- Consumo limitado de datos.

- Tarifas aun elevadas con relación al acceso de Internet cableado (ADSL, Cable Módem, FTTH).
- El Internet es inestable, su conectividad varía constantemente de acuerdo al lugar donde el usuario se encuentre.
- Rápido consumo de megas al realizar video llamada, ver video, descargas de archivos o programas o actualizaciones de sistema operativo.

**Figura N° 3.4 Arquitectura de red general de Nuevatel VIVA PCS.**



Fuente: [revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/146/140](http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/146/140)

### 3.2.3. Alternativa de Solución Elegida

Para el diseño de una red 5G para la operadora VIVA Nuevatel se resume a continuación la siguiente alternativa de solución elegida: La red de acceso se basa en la utilización de las mismas estaciones base con tecnología Huawei 4G LTE de la empresa VIVA, ya que el modelo de dichas estaciones poseen la ventaja de poder contar con una evolución que permite la convergencia a la tecnología LTE, así 5G operaría en el modo NSA con equipos de la marca Nokia para compartir los recursos de la red móvil de datos y de esta forma hacer más énfasis en los equipos que centralizarán toda la información provenientes de las radiobases 5G.

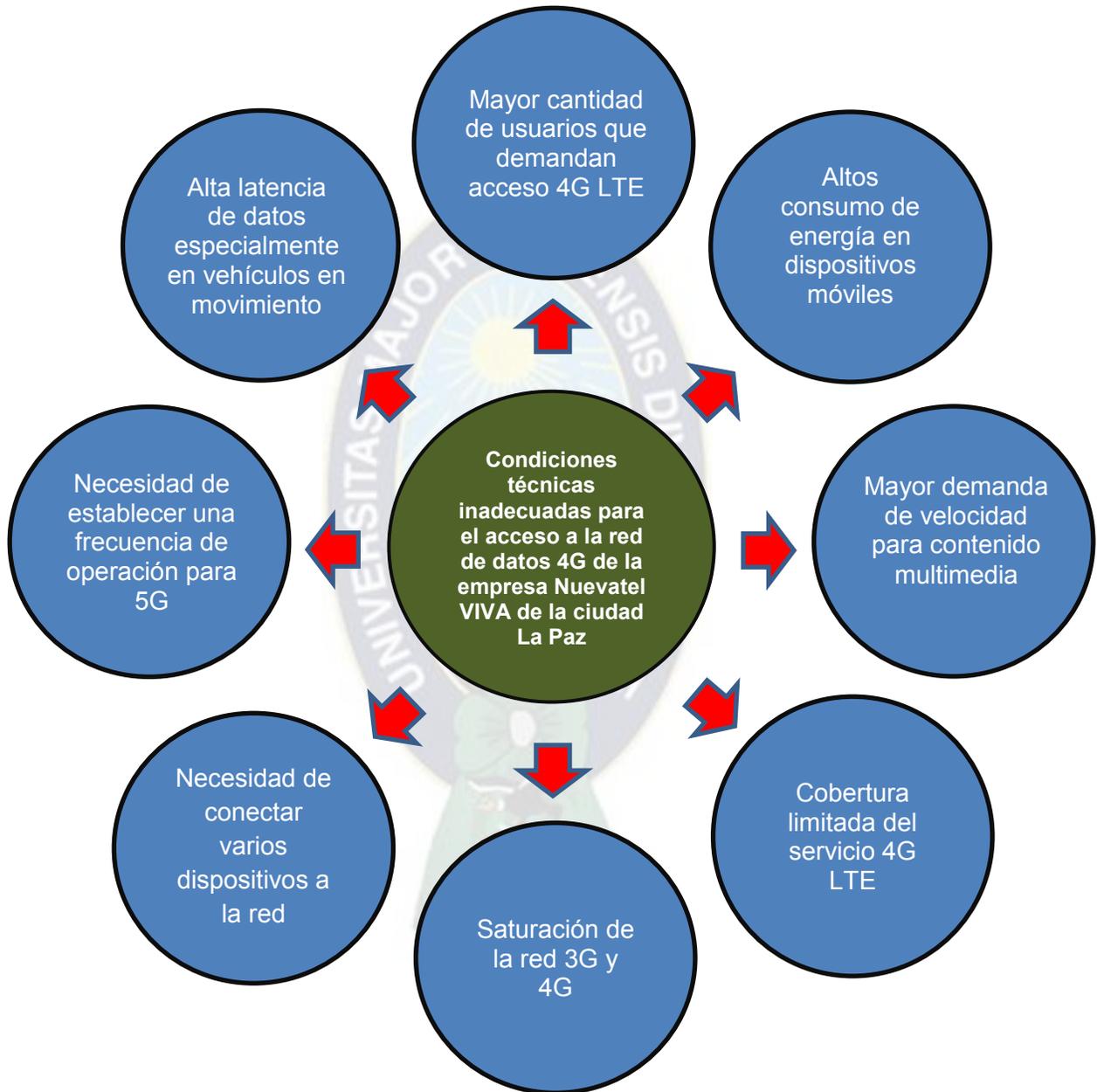
### 3.2.4. Proceso de Ingeniería de Diseño de la Red 5G

La alternativa de solución que se desarrolló, pasó por el proceso de ingeniería de diseño de la red 5G para la empresa Nuevatel VIVA PCS – Regional La Paz, contemplando los siguientes pasos:

- Análisis de demanda de los beneficiarios. Los requerimientos de usuario deben ser expresados en términos de servicios requeridos en la red, el volumen de tráfico que será manejado, capacidad de almacenamiento requerido, niveles de servicio necesarios, seguridad, entre otros.
- Elección de los lugares donde se colocarán las nuevas radiobases, esto con el fin de mejorar la cobertura. Para delimitar geográficamente los sitios donde se requiere dar cobertura y definir los puntos donde se ubicarán radiobases 5G, se emplearon imágenes satelitales obtenidas de Google Earth.
- Selección de las frecuencias (portadoras) de los enlaces subida y bajada de acuerdo con el plan de frecuencias establecido por la ATT. De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias de Bolivia se elegirán las frecuencias que serán empleadas en la red 5G.
- Cálculo de la capacidad de la red. Como la red 5G cursará tráfico de datos, se calculará el ancho de banda necesario para que los beneficiarios se comuniquen con una óptima calidad y a su vez puedan visionar contenido multimedia sin cortes y retardo.
- Selección de los equipos. Una vez definidos los parámetros de la red 5G, se procederá a seleccionar los equipos, lo que permitirá el diseño final de la arquitectura de la red.
- Establecimiento de los lineamientos de seguridad que serán empleados en el despliegue de la red 5G, que servirán para proteger los datos de los usuarios y de la red en si misma, para que ningún ataque cibernético pueda interrumpir el servicio de transmisión de datos e Internet.

En la figura 3.5 se muestra el entorno correspondiente de la problemática planteada para el presente proyecto.

**Figura N° 3.5 Representación gráfica del problema.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

### 3.2.5. Estudio de la Demanda y Oferta

A continuación, se desarrolla un estudio de la oferta y la demanda para estimar la cantidad de usuarios a los que se debe brindar el servicio de transmisión de datos. Este estudio de la oferta y la demanda es necesario realizarlo, debido a que el mercado objetivo presenta alto grado de dinamismo, por la constante adopción de tecnologías que se encuentra en una etapa madura y la penetración de dispositivos móviles cada vez se incrementa más, por ejemplo, según datos estadísticos más de un 83% de los bolivianos tiene un teléfono celular y en La Paz un 80% cuenta con un teléfono celular. Sin embargo, el 50% de la población en Bolivia cuenta con un teléfono inteligente con conexión a datos. Además que a partir de la demanda se conocerá con exactitud la calidad del servicio que se debe brindar y que exige actualmente el usuario.

El número de teléfonos móviles activos en Bolivia ha superado al de la población total proyectada para 2018. Un informe de la ATT señala que a marzo de la gestión 2018 existen 11.323.497 líneas móviles, mientras que la población nacional, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), es de 11.307.314 personas.

**Tabla N° 3.1 Cantidad de líneas móviles activas en Bolivia al 2018 por región.**

Región	Población	Números móviles	% total móviles
La Paz	2.883.494	3.310.635	29
Santa Cruz	3.224.662	3.145.272	28
Cochabamba	1.971.523	2.028.242	18
Oruro	538.199	686.262	6
Tarija	563.342	603.071	5
Potosí	887.497	571.698	5
Chuquisaca	626.318	531.158	5
Beni	468.180	339.765	3
Pando	144.099	107.394	1
<b>Bolivia</b>	<b>11.307.314</b>	<b>11.323.497</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Urgente.bo con datos de la ATT y el INE (Julio de 2018).

Una tabla comparativa realizada por la redacción del periódico digital Urgente.bo a partir de un informe de la ATT y la población proyectada a 2018 muestra que de los

nueve departamentos de Bolivia, cuatro son los que tienen registrada un mayor número de móviles que los de su población. Entre ellos destaca el departamento de La Paz, que tiene una población de 2.883.494 y cuenta con 3.310.635 teléfonos celulares.

Los cuatro departamentos con más números móviles que su propia población son los departamentos de La Paz, Cochabamba, Oruro y Tarija; mientras que en los departamentos de Santa Cruz, Potosí, Chuquisaca, Beni y Pando, el número de teléfonos celulares es menor al de la población. Otro dato que llama la atención es que los departamentos de La Paz (29%) y Santa Cruz (28%) concentran el 57% del número de teléfonos móviles a nivel nacional. Muy lejos se encuentra el departamento de Cochabamba, con el 18%.

Dicha tabla muestra también que los departamentos que no forman parte del eje troncal: Chuquisaca, Oruro, Potosí, Tarija, Beni y Pando hacen en total el 25% de los teléfonos móviles. El crecimiento de número de conexiones de internet, a nivel nacional, se incrementó el primer trimestre del 2018 en un 6.8%, respecto a la gestión 2017. Al primer trimestre de 2018, la cantidad de conexiones a Internet asciende a 9.416.000, destacando que los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, cuentan con mayor concentración de este servicio, como se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.2 Cantidad de conexiones de Internet en Bolivia al 2018 por región.**

Departamento	Conexiones	%
Santa Cruz	2.692.175	28%
La Paz	2.635.618	29%
Cochabamba	1.685.473	18%
Oruro	576.846	6%
Tarija	511.103	5%
Potosí	476.610	5%
Chuquisaca	456.838	5%
Beni	290.841	3%
Pando	90.496	1%
<b>Total Conexiones</b>	<b>9.416.000</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Urgente.bo con datos de la ATT y el INE (Julio de 2018).

### 3.2.5.1. Análisis de la Demanda

Según la información obtenida de la empresa Nuevatel VIVA PCS, esta cuenta con el 26% del mercado de la telefonía móvil a nivel nacional y en los últimos años ha tenido un crecimiento sistemático y sostenido, actualmente cuenta con más de dos millones de abonados activos. Para analizar la demanda primero se tomó en cuenta el crecimiento demográfico que es un dato muy importante, porque es una herramienta que permitirá dar a conocer el número de abonados dentro de la zona de estudio donde se pretende enfocar el diseño de la red 5G.

Para el diseño de esta red se tomó en cuenta como muestra específica la zona central de la ciudad de La Paz, la cual es considerada como la más congestionada debido a la cantidad de gente que transita en horas pico, a causa de la cantidad de negocios, oficinas y centros comerciales que se encuentran en el lugar. Esta zona de muestra va desde la Plaza del Estudiante hasta la Pérez Velasco.

**Figura N° 3.6 Zona central de la ciudad de La Paz.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la aplicación Google Earth, 2019.

### 3.2.6. Tamaño y Localización del Proyecto

El crecimiento demográfico es muy importante porque es una herramienta que ayuda a conocer el número de abonados dentro de la zona de estudio donde se pretende brindar el servicio de transmisión de datos e Internet 5G. Según indica el INE, en el año 2012 el Municipio de La Paz contaba con una población de 890.154 habitantes, mostrado en la siguiente tabla distribución de habitantes por Macrodistrito:

**Tabla N° 3.3 Distribución de habitantes por Macrodistrito.**

MACRODISTRITO	2001	2012
<b>Total Municipio de La Paz</b>	<b>793.293</b>	<b>890.154</b>
Macrodistrito Cotahuma	153.655	172.416
Macrodistrito Max Paredes	164.566	184.660
Macrodistrito Periférica	159.123	178.552
Macrodistrito San Antonio	115.659	129.781
Macrodistrito Sur	127.228	142.763
Macrodistrito Mallasa	5.082	5.703
Macrodistrito Centro	64.272	72.120
Macrodistrito Hampaturi	2.048	2.298
Macrodistrito Zongo	1.660	1.863

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística - Censo Nacional de Población y Vivienda 1992, 2001.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla distribución de habitantes por Macrodistrito y Distrito:

**Tabla N° 3.4 Distribución de habitantes por Macrodistrito y Distrito.**

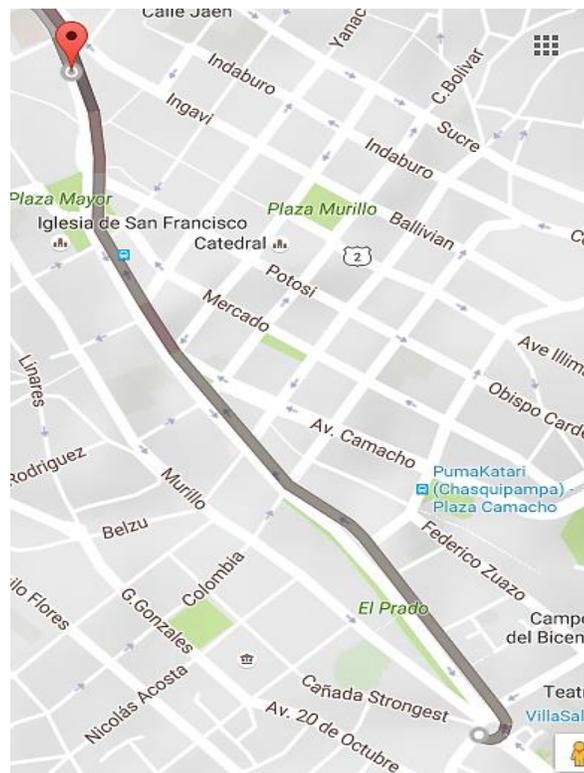
MACRODISTRITO Y DISTRITO	1992	2001	2011 (proy.)	2012 (proy.)
<b>MUNICIPIO DE LA PAZ</b>	<b>715.900</b>	<b>793.293</b>	<b>881.349</b>	<b>890.154</b>
<b>Macrodistrito Cotahuma</b>	<b>142.293</b>	<b>153.655</b>	<b>170.711</b>	<b>172.416</b>
Distrito 3	31.035	31.099	34.551	34.896
Distrito 4	37.440	45.296	50.324	50.827
Distrito 5	41.103	43.749	48.605	49.091
Distrito 6	32.715	33.511	37.231	37.603
<b>Macrodistrito Max Paredes</b>	<b>174.464</b>	<b>164.566</b>	<b>182.833</b>	<b>184.660</b>
Distrito 7	62.465	53.643	59.597	60.193
Distrito 8	47.062	39.093	43.432	43.866

Distrito 9	44.003	46.576	51.746	52.263
Distrito 10	20.934	25.254	28.057	28.338
<b>Macrodistrito Periférica</b>	<b>152.957</b>	<b>159.123</b>	<b>176.786</b>	<b>178.552</b>
Distrito 11	60.358	73.528	81.690	82.506
Distrito 12	45.918	43.062	47.842	48.320
Distrito 13	46.681	42.533	47.254	47.726
<b>Macrodistrito San Antonio</b>	<b>90.917</b>	<b>115.659</b>	<b>128.497</b>	<b>129.781</b>
Distrito 14	19.788	29.605	32.891	33.220
Distrito 15	29.064	31.974	35.523	35.878
Distrito 16	16.606	23.920	26.575	26.841
Distrito 17	25.459	30.160	33.508	33.843
<b>Macrodistrito Sur</b>	<b>91.194</b>	<b>127.228</b>	<b>141.350</b>	<b>142.763</b>
Distrito 18	22.789	35.092	38.987	39.377
Distrito 19	30.182	45.548	50.604	51.109
Distrito 21	38.223	46.588	51.759	52.276
<b>Macrodistrito Mallasa</b>	<b>4.669</b>	<b>5.082</b>	<b>5.646</b>	<b>5.703</b>
Distrito 20	4.669	5.082	5.646	5.703
<b>Macrodistrito Centro</b>	<b>56.884</b>	<b>64.272</b>	<b>71.406</b>	<b>72.120</b>
Distrito 1	25.859	29.253	32.500	32.825
Distrito 2	31.025	35.019	38.906	39.295
<b>Macrodistrito Hampaturi</b>	<b>859</b>	<b>2.048</b>	<b>2.275</b>	<b>2.298</b>
Distrito 22	859	2.048	2.275	2.298
<b>Macrodistrito Zongo</b>	<b>1.663</b>	<b>1.660</b>	<b>1.844</b>	<b>1.863</b>
Distrito 23	1.663	1.660	1.844	1.863

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística - Censo Nacional de Población y Vivienda 1992, 2001.

Como para este proyecto se tomó en cuenta la zona central de la ciudad de La Paz, se analizaron los datos mostrados anteriormente en las Tablas 3.3 y 3.4. El Macrodistrito Centro involucra a dos Distritos que son el Distrito 1 y el Distrito 2 que hacen un total de 72.120 habitantes y la cantidad de gente que reside por la zona seleccionada es de 16.000 habitantes, sin embargo, la actividad económica atrae diariamente hacia esta área a una población flotante estimada de 274.400 personas, a ello se sumaría la circulación diaria de 130 mil vehículos (minibuses, taxis, trufis, micros, buses y particulares), lo que representa un 77% del parque automotor de la ciudad.

**Figura N° 3.6 Zona central de la ciudad de La Paz.**



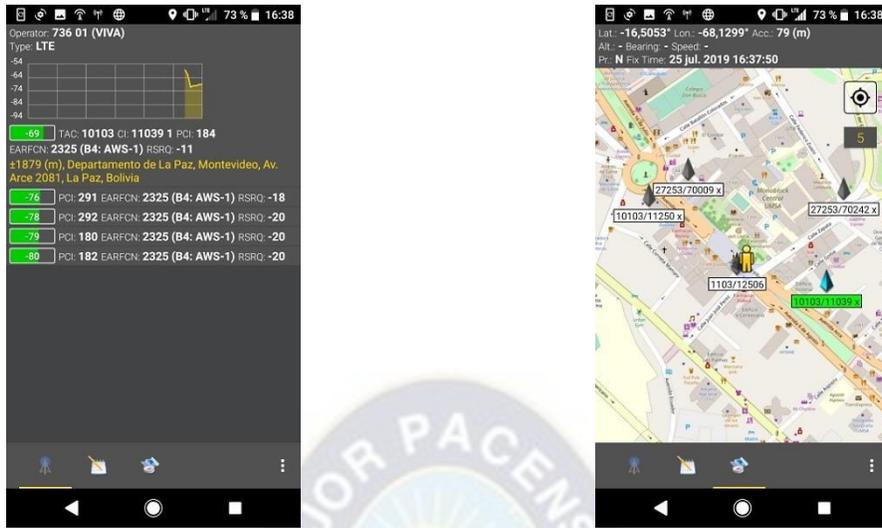
**Fuente:** Elaboración propia en base a la aplicación Google Maps, 2019.

Debido a que realizar el estudio de la demanda sobre la cantidad de habitantes por la zona de muestra es insuficiente e irreal se tuvo que recurrir a los datos sobre el tráfico aproximado de la empresa Nuevatel VIVA PCS en la zona central de la ciudad de La Paz, los cuales fueron obtenidos de las consultas hechas al encargado de planificación de la empresa.

### **3.2.7. Selección y Ubicación de Radiobases 5G**

Para la detección, selección y ubicación de la radiobases que se encuentran en la zona para 5G, se eligió la aplicación Netmonitor que es una aplicación disponible para Android que va a permitir conocer diferentes detalles sobre la conexión móvil 4G LTE así como su intensidad (RSSI), tipo de conexión, datos de la antena a la que se esta conectado, radiobases cercanas, etc.

**Figura N° 3.6 Zona central de la ciudad de La Paz.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la aplicación Netmonitor, 2019.

Mediante esta herramienta se pudo tomar datos de las radio bases detectadas desde la Plaza del Estudiante hasta la Pérez Velazco y viceversa. Además mediante esta aplicación fue posible obtener la ubicación geográfica exacta de cada una de las radiobases de VIVA. Sin embargo, solo se tomaron en cuenta diez radiobases como objeto de estudio, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura N° 3.7 Ubicación de radiobases en la zona central de la ciudad de La Paz.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la aplicación Google Earth, 2019.

En la Tabla 3.5 se muestra un listado detallado de con las radio bases tomadas en cuenta en la zona central de la ciudad de La Paz, donde se indica el tipo de servicio, la tecnología que utiliza, el departamento, la provincia, la ciudad, la dirección la latitud y la longitud a la que pertenece cada una.

**Tabla Nº 3.5 Descripción de las radiobases que se tomaron como objeto de estudio.**

No.	Tipo de Servicio	Tecnología	Ciudad	Zona	Dirección	Latitud (S)	Longitud (W)
RB1	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Calle Batallón Colorados	16°30'14.31"S	68° 7'50.58"O
RB2	Móvil	LTE	La Paz	La Paz	Calle Batallón Colorados	16°30'12.65"S	68° 7'48.18"O
RB3	Móvil	LTE	La Paz	La Paz	Av. 16 de Julio esq. Calle Reyes Ortiz	16°30'8.89"S	68° 7'54.39"O
RB4	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Av. 16 de Julio esq. Calle Colombia	16°30'2.61"S	68° 8'2.61"O
RB5	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Av. 16 de Julio entre Calles Bueno y Loayza	16°30'3.01"S	68° 7'58.72"O
RB6	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Calle Bueno esq. Federico Suazo	16°30'2.44"S	68° 7'55.66"O
RB7	Móvil	LTE	La Paz	La Paz	Av. Camacho	16°30'3.19"S	68° 7'50.28"O
RB8	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Av. Mariscal Santa Cruz esq. Calle Oruro	16°29'55.78"S	68° 8'5.65"O
RB9	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Calle Socabaya	16°29'51.17"S	68° 8'7.55"O
RB10	Móvil	3G UMTS	La Paz	La Paz	Av. Mariscal Santa Cruz entre Calle Cochabamba y Sagárnaga	16°29'49.95"S	68° 8'11.43"O

**Fuente:** Elaboración propia en base a la aplicación Netmonitor, 2019.

### 3.2.8. Estudio de Tráfico

El estudio de tráfico es de gran importancia para realizar un análisis de dimensionamiento de la red para brindar servicios de telefonía, pues el cálculo de tráfico ayudará a obtener información relevante para el cálculo del ancho de banda requerido, y criterios de selección de equipos para así tener un buen rendimiento en la red.

### 3.2.9. Arquitectura Propuesta de la Red 5G

Actualmente la arquitectura 4G con la que cuenta la empresa Nuevatel VIVA se trata de una arquitectura mixta donde es posible ver que las redes de voz 2G y de acceso 3G conviven juntos con la misma red de núcleo, haciendo que las tecnologías 2G y 3G funcionen de manera paralela, además Nuevatel VIVA también tiene incorporado a este núcleo de red la tecnología 4G LTE, esto se pudo constatar por que al utilizar la herramienta Netmonitor se pudo capturar las radiobases con tecnología LTE.

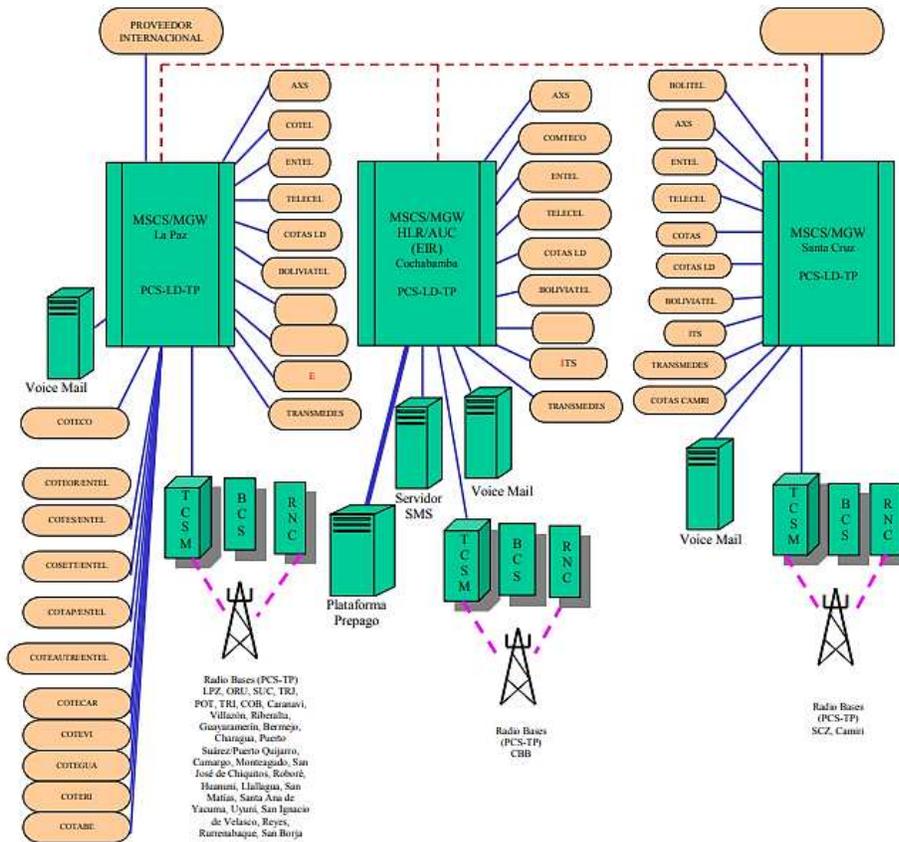
Figura N° 3.8 Localización de una radiobase 4G con Netmonitor.



Fuente: Elaboración propia en base a la aplicación Netmonitor, 2019.

Según la información que se pudo obtener de la Oferta Básica de Interconexión (OBI), actualmente la empresa VIVA cuenta con tres MSCS, BSC y RNC repartidas en los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, como se muestra en la figura a continuación.

**Figura N° 3.9 Diagrama de la red de Nuevatel VIVA PCS.**



**Fuente:** Oferta Básica de Interconexión de Nuevatel, 2018.

La red de VIVA cuenta con radiobases del proveedor Huawei con tecnología 2G y 3G y radiobases (HSPA+) del proveedor Nokia y radiobases del mismo proveedor Nokia con tecnología 2G. La información es recolectada por las BSC y RNC y enviados a las bases de datos del sistema de gestión de cada red: HSPA+ y 2G, 3G y 4G). Este procedimiento se repite cada hora y la información almacenada es identificada en los datos fuente a nivel de sectores. El sistema de gestión de la red se encarga de recolectar la información de los eventos registrados en la red y las almacena en bases de datos propietarias.

En los sistemas internos de Nuevatel se realiza la recolección estadística, extrayendo la información necesaria de las bases de datos de los proveedores de manera diaria. De la base de datos se obtiene el tráfico en Erlangs cursado en cada una de las radiobases. La información del tráfico es registrado por hora por día, por mes y por sector lo que significa una cantidad bastante grande de registros. Esta información se encuentra registrada a nivel de sector, por lo que todas las radio bases de la red de VIVA cuentan con tres sectores.

De acuerdo a la información obtenida se tiene un tráfico aproximado de 42 Erlangs en la hora pico en tres sectores por radiobase, que corresponde a las 12:00 del medio día. Cabe aclarar que este tráfico involucra los servicios de voz y datos por lo que se asume un 80% de conexiones de datos UMTS o LTE que corresponde a 33,6 Erlangs y un 20% de conexiones de voz GSM que corresponde a 8,4 Erlangs. Por lo que el tráfico generado se muestra a continuación:

**Tabla N° 3.6 Tráfico promedio por radiobase correspondiente al servicio UMTS o LTE.**

Nro.	Radio Base	Tráfico de Datos
1	RB1	33,6
2	RB2	33,6
3	RB3	33,6
4	RB4	33,6
5	RB5	33,6
6	RB6	33,6
7	RB7	33,6
8	RB8	33,6
9	RB9	33,6
10	RB10	33,6
	<b>TOTAL</b>	<b>336 Erlangs</b>

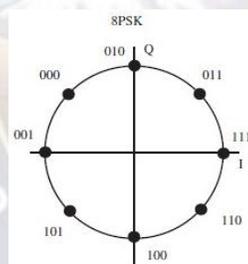
Fuente: Elaboración propia, 2019.

### 3.2.10. Modulación para 5G

En el presente proyecto para 5G NSA, se aplicarán el OFDM de Prefijo Cíclico o CP-OFDM para protección contra la interferencia entre símbolos, como por ejemplo la causada por el multitrayecto de la señal en el enlace descendente y DFT-S-OFDM en

el ascendente. Este segundo caso es el que se utiliza en LTE 4G con el nombre de SC-FDMA. Parece más acertada la nueva sigla DFT-S-OFDM ya que lo que se hace es un procesamiento previo de expansión con la transformada discreta de Fourier (DFT-spread), en el que se realiza la transformada de Fourier de los bits a transmitir, que previamente han sido asignados a las entradas de la transformada discreta de Fourier mediante una matriz de correspondencia, asignándose sus salidas a las subportadoras en el dominio de la frecuencia a través de otra matriz de correspondencia, para finalmente someter el resultado a una transformada inversa, procediéndose entonces a modular una portadora con dicha señal. Las matrices se pueden configurar de manera que se consiga una relación de potencia de Pico a Potencia Promedio Baja (PAPR, Peak to Average Power Ratio), permitiendo una mejor eficiencia en los amplificadores de potencia de los terminales móviles. Los esquemas de modulación más comunes para 5G son: QPSK, 8PSK.

**Figura N° 3.10 Constelación a la salida de un modulador 8PSK**



**Fuente:** [http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos\\_contenido/Apuntes%20de%20materias/CDF1202\\_Comm\\_Digitales/6\\_Modulacion\\_PasaBanda.pdf](http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/CDF1202_Comm_Digitales/6_Modulacion_PasaBanda.pdf)

En esta sección se determinará el ancho de banda (BW) expresado en Mbps de acuerdo al tipo de modulación elegida (en este caso 8PSK). Para esto se hizo un análisis realizando los cálculos para la modulación escogida:

**Datos:**

DL = 150 Mbps.

UP = 60 Mbps.

Latencia = Entre 2 o 3 ms.

Subs = Suscriptores.

Capacidad por Celda = 1 Gbps.

Carga Promedio de la Hora Pico = 50%

Velocidad de Datos Requerida por Usuario = 150 Mbps.

Factor de Reúso = 50.

Sectores por Celda = 3.

$$Subs = \frac{Capacidad\ de\ Celda * Carga\ Prom * Factor\ de\ Reuso * Sectores}{Velocidad\ de\ Datos\ por\ Usuario}$$

$$Subs = \frac{1000\ Mbps * 0.50 * 50 * 3}{150\ Mbps} = 500\ subs/celda$$

Para el cálculo de la tasa efectiva de datos o throughput por usuario se tiene:

$$R_b = V_u * M * C$$

Donde;

$R_b$  = Tasa efectiva de datos o throughput en Mbps.

M = Ganancia de modulación (3 para 8PSK).

C = Velocidad de codificación (2/3 para 8PSK).

$V_u$  = Velocidad de datos por usuario en Mbps.

$$R_b = (150\ Mbps) * 3 * \frac{2}{3} = 300\ Mbps$$

Se trabaja con la modulación 8PSK ya que presenta 3 bits por símbolo y además de que este método cuenta con una ventaja que radica esencialmente en la cantidad de bits por símbolo, lo que ayuda en uno de los objetivos de las comunicaciones digitales, que es el de transmitir la mayor cantidad de información para 5G, es decir, a mayor velocidad y a mayor compresión.

### 3.2.11. Selección de Equipos

#### **Antena:**

En este caso se trabajará con la tecnología 5G de Nokia, ya que la empresa VIVA cuenta con un sistema de radiobases Huawei LTE con el modelo de BSC 6900 que esta encargado de manejar la red, siendo ambos sistemas compatibles.

Este modelo de BSC tiene la facilidad de poder conmutar entre las cuatro tecnologías GSM/UMTS/LTE/5G (fallback).

### BSC, MSC:

Para el proyecto se mantendrá la tecnología utilizada por VIVA que utiliza la tecnología del proveedor HUAWEI con la BSC 6900, la misma que tiene la posibilidad de conmutar a LTE sin realizar muchos cambios significativos en los equipos necesarios en la implementación de una red 5G, solamente se incluyen los equipos como las unidades de radiofrecuencia, los módulos de sistema y el hardware para la parte de virtualización AirScale de Nokia.

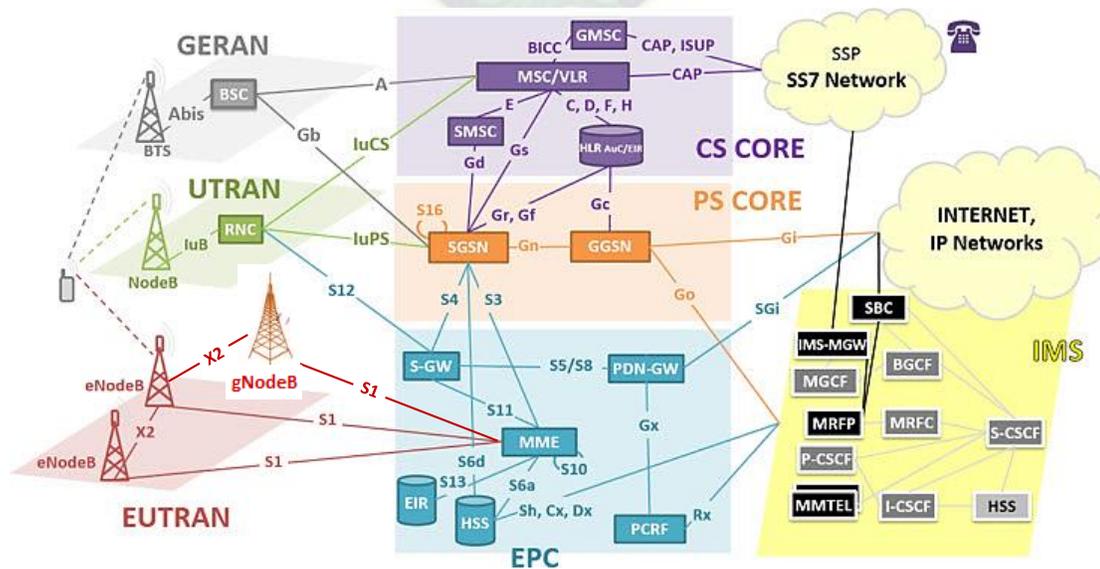
### BSC 6900 Cabinet:

De acuerdo con el estándar IEC60297, el subrack BSC6900 LTE tiene una medida estándar de 19 pulgadas. La altura de cada sub-bastidor es de 12u. Las tablas se instalan en el lado frontal posterior, lo que lo posiciona en el centro del subrack.

### 3.2.12. Diseño General de la Red 5G

A continuación, se muestra la red 5G propuesta como parte del mismo core con el que cuenta Nuevatel VIVA PCS:

Figura N° 3.11 Diagrama general de la red 5G propuesta.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Cada uno de los elementos del diagrama de la red 5G propuesta se explica a continuación:

**CS CORE.** Núcleo de Red de Conmutación de Circuitos.

**GMSC.** Es una sigla de Gateway Mobile Services Switching Center o Puerta de Enlace del Centro de Conmutación de Servicio Móvil. Es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware) que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan, por ejemplo con la telefonía fija.

**BICC.** Es una sigla de Bearer Independent Call Control o Control de Llamada Independiente del Portador. El protocolo BICC proporciona las funciones de señalización de red a red necesarias con independencia de las tecnologías de portador y de transporte de señalización utilizadas entre el GMSC y el MSC.

**CAP.** Es una sigla de CAMEL Application Part o Sección de Aplicación CAMEL, se utiliza cuando el suscriptor realiza roaming entre redes, permitiendo a la red doméstica supervisar y controlar las llamadas realizadas por el suscriptor. Este protocolo heredó las características de la red de conmutación de circuitos.

**ISUP.** Sigla que significa **ISDN User Part o Sección de Usuario ISDN** Es un protocolo de circuitos conmutados, usado para configurar, manejar y gestionar llamadas de voz y datos sobre PSTN (Red Conmutada Tradicional).

**MSC/VLR.** MSC son siglas de Mobile Switching Center. Son las centrales de conmutación que establecen las llamadas de voz en las redes móviles. A este elemento se conectan tanto las BSC como las RNC (UMTS) aunque solo reciben las llamadas de voz. Las llamadas de datos siguen un camino diferente. La tecnología utilizada por estas centrales es la misma que la empleada en las centrales de telefonía fija. Aun así el software que las controla es bastante más complejo ya que tiene que permitir la conexión de usuarios que están en movimiento y que pueden conectarse desde cualquier lado. Por su parte, VLR son siglas de Visitor Location Register. Aunque lógicamente es un elemento diferente realmente es parte de la MSC. En él se almacena la información de los abonados que están conectados en dicha MSC. Este elemento permite no tener que estar preguntando continuamente al

HLR por la información de un abonado. Además contiene información particular relativa a su posición en la red y su estado actual.

**SMSC.** Un Centro de Servicio de Mensajes Cortos (SMSC) es un elemento de las redes de telecomunicaciones móviles que almacena, encamina, convierte y envía mensajes SMS y mantiene fecha y hora exclusivas en mensajes de texto. La tarea principal de un SMSC es el encaminamiento de mensajes SMS y la regulación del proceso. Si el destinatario no estuviere disponible (por ejemplo, cuando el celular está apagado), el SMSC irá a almacenar el mensaje SMS y encaminarla cuando el destinatario estuviere disponible o cuando el período de validez del mensaje fue excedido.

**HLR AuC/EIR.** HLR siglas de Home Location Register o Registro de Ubicación Local. Es el elemento de la red que almacena los datos de los usuarios. Para dar de alta un usuario en una red móvil se deben introducir los datos en el HLR correspondiente. En una red móvil suele haber un HLR por cada millón de abonados. Por lo tanto los elementos de la red móvil que consultan la información del usuario deben saber, según el usuario, cual es el HLR que contiene su información. La información almacenada es toda la información estática relativa al usuario como los desvíos o los servicios activados. Por su parte, AuC, siglas de Authetication Center o Centro de Autenticación. Es un elemento complementario del HLR. Para mantener la confidencialidad en las comunicaciones e identificarnos con seguridad se utilizan unas claves particulares para cada SIM. Estas claves también están almacenadas en el AuC. Por seguridad estas claves no se almacenan en ningún otro sitio de la red y el AuC las mantiene protegidas. Finalmente, EIR, son siglas de Equipment Identification Register. Este elemento no es imprescindible y, de hecho, al principio no se ponía. Su función es comprobar el identificador del dispositivo o IMEI (International Mobile Equipment Identification). Todos los dispositivos tienen un identificador IMEI único en el mundo. El operador tiene registrado nuestro IMEI si hemos comprado el teléfono a través de él o también si le informamos cuando compramos un nuevo teléfono. Si nuestro teléfono es robado podemos informar al operador y este pone el IMEI de nuestro teléfono en la lista negra del EIR. Si el EIR detecta una llamada con nuestro teléfono la interrumpe aunque la SIM sea distinta por lo que el teléfono queda inoperativo. El EIR admite también una lista gris en la

que la llamada no se interrumpe pero envía un aviso informando de su uso. Algunos operadores tienen acuerdos para intercambiar el contenido de sus listas para impedir el uso de teléfonos robados aunque se cambie de operador.

**GERAN.** Acrónimo de GSM EDGE Radio Access Network. Es el conjunto de especificaciones de radio para las tecnologías GSM y EDGE.

**BTS.** Una estación base o BTS (Base Transceiver Station) es un elemento de red de comunicaciones móviles fundamental, quizá el más importante, se trata de un equipamiento fijo distribuido por el territorio terrestre para cubrir el área a la que se pretende prestar el servicio de cobertura.

**BSC.** Sigla de Base Station Controller. El elemento BSC controla un determinado número de BTS de un área. Todas las BTS de dicha área se conectan a la BSC y, a través de ella, pasa todo el flujo de comunicaciones. El elemento BSC controla el correcto funcionamiento de las BTS conectadas, maneja la configuración de cada una de ellas e incluso participa activamente cuando un usuario móvil pasa de una BTS a otra (handover).

**SS7 Network.** Es la red de conmutación de circuitos tradicional, basada en el protocolo SS7.

**SSP.** El punto de conmutación de servicios (Service Switching Point). Constituye el origen de los requerimientos de servicios y envían mensajes a la Red de Señalización para establecer las llamadas o características de acceso de servicio requeridas por un abonado. La SSP utiliza la información de quien llama (los dígitos marcados) para determinar la ruta de la llamada.

**PS CORE.** Núcleo de Red de Conmutación de Paquetes.

**SGSN.** Sigla que significa Nodo de Soporte de Servicio GPRS o Serving GPRS Support Node, el cual tiene como función principal el dar acceso a los terminales móviles (teléfonos celulares) hacia la red de datos que puede ser internet o una red corporativa. El SGSN es el primer punto principal en el cual se autentifica un terminal al momento de realizar una conexión de datos.

**GGSN.** Sigla que significa Nodo de Soporte para Puerta de Enlace GPRS o Gateway GPRS Support Node. Es la puerta de enlace o punto central de conexión hacia el exterior o la PDN (Packet Data Network) de una red celular (red móvil), estas redes externas pueden ser Internet o una red corporativa. Son el punto de acceso para múltiples puntos de accesos llamados APN o Access Point Network.

**UTRAN.** Sigla que significa Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System). UTRAN permite a los equipos de usuario acceder al núcleo de red de UMTS, una de las principales redes de comunicaciones móviles inalámbricas de tercera generación (3G). El sistema UTRAN ha sido desarrollado para alcanzar altas velocidades de transmisión. Nuevos tipos de transferencia de datos y algoritmos ayudan a alcanzar esta velocidad.

**NodeB.** El nodo B crea, mantiene, y envía un enlace de radio en cooperación con el terminal de usuario. Es decir, es el componente responsable de la transmisión y recepción radio entre el terminal móvil y una o más celdas UMTS.

**RNC.** El Controlador de la Red de Radio (RNC, Radio Network Controller) controla a uno o varios Nodos B. El RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz **IuCS** o con un SGSN mediante la interfaz **IuPs**. La interfaz entre dos RNC es la interfaz **Iur** por lo tanto una conexión directa entre ellos no es necesario que exista.

**EPC.** Sigla que significa Evolved Packet Core o Núcleo de Paquetes Evolucionado. Representa el núcleo de red del sistema LTE, fue introducido por la 3GPP en la Revisión 8 como una arquitectura plana con el objetivo de manejar tráfico de datos de una manera más eficiente desde una perspectiva de desempeño y costo.

**S-GW.** La Puerta de Enlace de Servicio o Serving Gateway actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La funcionalidad de punto de anclaje también se aplica a la gestión de movilidad con las otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN).

**PDN-GW.** La Puerta de Enlace de la Red de Paquetes de Datos es una entidad encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas

(denominadas como Packet Data Network, PDN, en las especificaciones 3GPP). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta “visible” en la red externa.

**MME.** Sigla que significa Entidad de Administración de la Movilidad o Mobility Management Entity. La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN.

**EIR.** Sigla que significa Registro de Identidad de Equipo o Equipment Identity Register. Es una base de datos que almacena los IMEI de los usuarios móviles.

**HSS.** Sigla que significa Servidor de Suscriptor Local o Home Subscriber Server. Es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la suscripción del usuario (p.ej., perfil de suscripción) como información necesaria para la propia operativa de la red.

**PCRF.** Sigla que significa Policy and Charging Rules Function o Función de Normas de Políticas y Tarifación. Constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, y en particular, del sistema LTE. La entidad PCRF forma parte del marco funcional denominado Control de Políticas y Tarifación (PCC, Policy and Charging Control) que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE (p.ej., activación y determinación de los parámetros de QoS asociados a cada servicio portador) así como realizar el control de los mecanismos de tarificación (p.ej., tarificación on-line, offline, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.).

**IMS.** Es un conjunto de especificaciones que describen la arquitectura de las redes de siguiente generación (Next Generation Network, NGN), para soportar telefonía y servicios multimedia a través de IP.

**SBC.** Sigla que significa Session Border Controller o Controlador de Sesión de Borde. Es un elemento necesario para mediar las diferencias en las redes IP y proporcionar las funciones de seguridad y control en la entrada y salida de dichas redes (Por ej. seguridad, calidad de servicio y señalización entre otros).

**IMS-MGW.** Sigla que significa IMS Media Gateway o Puerta de Enlace de Medios IMS. Es un elemento responsable por convertir las redes de conmutación de circuitos a paquetes y viceversa.

**MGCF.** Sigla que significa Media Gateway Control Function o Función de Control de Puerta de Enlace de Medios. Es un sistema que convierte las señales telefónicas, de modo que la red IMS, que es una red telefónica de última generación basada en IP, pueda interconectarse con la red telefónica PSTN existente basada en circuitos.

**MRFP.** Sigla que significa Procesador de Funciones de Recursos Multimedia o Media Resource Function Processor. Procesa directamente todos los recursos multimedia y desarrolla las siguientes funciones: Combina los flujos de entrada multimedia (múltiples partes), administración de la fuente de flujos multimedia (anuncios multimedia) y procesamiento de flujos multimedia (transcodificación de audio, análisis de multimedia).

**CSCF.** Sigla que significa Call State Control Function o Función de Control de Estado de Llamada, que integra tres subsistemas: P-CSCF (Proxy CSCF), S-CSCF (Serving CSCF) y I-CSCF (Interrogating CSCF). Estos subsistemas son los encargados, básicamente, de: procesar y enrutar la señalización; controlar los recursos del subsistema de transporte; realizar el registro y autenticación de los usuarios; provisionar los servicios IMS mediante el desvío de la señalización a los servidores de aplicación en cuestión y generar los registros de tarificación.

**MMTEL.** Sigla que significa Multimedia Telephony o Telefonía Multimedia es una solución estandarizada para proveer voz, video y otros servicios telefónicos sobre la red LTE (VoLTE)

**BGCF.** Sigla que significa Breakout Gateway Control Function o Función de Control de Puerta de Enlace de Salida. El BGCF selecciona la red en la cual el acceso a la red pública conmutada (PSTN) debe ocurrir.

**MRFC.** Sigla que significa Controlador de Función de Recursos Multimedia o Multimedia Resource Function Controller. Se comunica con el servidor aplicación y controla los recursos multimedia del MRFP. Por ejemplo, recursos necesarios para proveer tonos, anuncios y conferencia.

**HSS.** Contiene la base de datos principal, con los datos de todos los usuarios (incluyendo servicios autorizados), al cual varias entidades lógicas de control (CSCF) acceden al administrar los suscriptores. El HSS contiene los datos del usuario, que son pasados al S-CSCF, y almacena la información temporaria con la localización del S-CSCF donde el usuario está registrado en un momento dado.

**EUTRAN.** Sigla que significa Red de Acceso Terrestre Universal Evolucionado o Evolved Universal Terrestrial Access Network. Es la arquitectura de red definida para la interface de radio E-UTRA como parte de la especificación de la capa física LTE de la 3GPP.

**eNodeB.** Es el componente de la estación base de la red LTE que provee la cobertura para los usuarios de banda ancha móvil.

**gNodeB.** Es el componente de la estación base de la red 5G que provee la cobertura para los usuarios de banda ancha móvil.

**S1.** Es la interface entre la radiobase 5G y el núcleo de red en LTE.

**X2.** Es la interface lógica entre las estaciones 5G y LTE.

### **3.2.12.1. Seguridad**

No es posible afrontar los avances tecnológicos y, en particular, el advenimiento de las redes 5G como siguiente paso en el desarrollo de las telecomunicaciones, si no existen estándares o normas que definan el camino por donde debe transitar el trabajo de la seguridad, de acuerdo a las tendencias de esta industria. Actualmente, la industria de las telecomunicaciones y de la información está trabajando en busca de nuevas soluciones de seguridad que puedan ser aplicadas a cualquier tipo de red, servicios y aplicaciones. Para lograr esto, en un mundo tan heterogéneo en cuanto a fabricantes, proveedores y clientes, se requiere del trabajo con soluciones estándares.

Hasta el momento, se han desarrollado un grupo de normas de seguridad para el entorno de las telecomunicaciones a partir de los enfoques de la Gestión de la Información y de la Gestión de Redes. Desde la precursora X.800, del Sector de

Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), incluyendo la norma ISO 270012 de la Organización de Estándares Internacional (International Standard Organization), se han definido conceptos, arquitecturas y esquemas de trabajo, que han sido adoptados en alguna medida por los operadores de redes de telefonía fija y móvil, de video y de datos, en busca de asegurar el funcionamiento de sus sistemas. La diversidad de normativas y soluciones de seguridad existentes, la evolución de la tecnología, de las redes y de sus servicios, su convergencia sobre una plataforma común basada en el Protocolo de Internet (IP, Internet Protocol), hace necesario realizar una revisión de todos estos aspectos para obtener soluciones generales e integradoras, que se adapten a una realidad tecnológica que cambia constantemente y abarca todas las áreas de la vida del género humano. A partir de todo lo expuesto, y con el objetivo de avanzar en la respuesta a estas necesidades, el presente artículo propone una arquitectura de seguridad general, sencilla y flexible, útil en la realización de las tareas de gestión de seguridad de las redes de telecomunicaciones actuales.

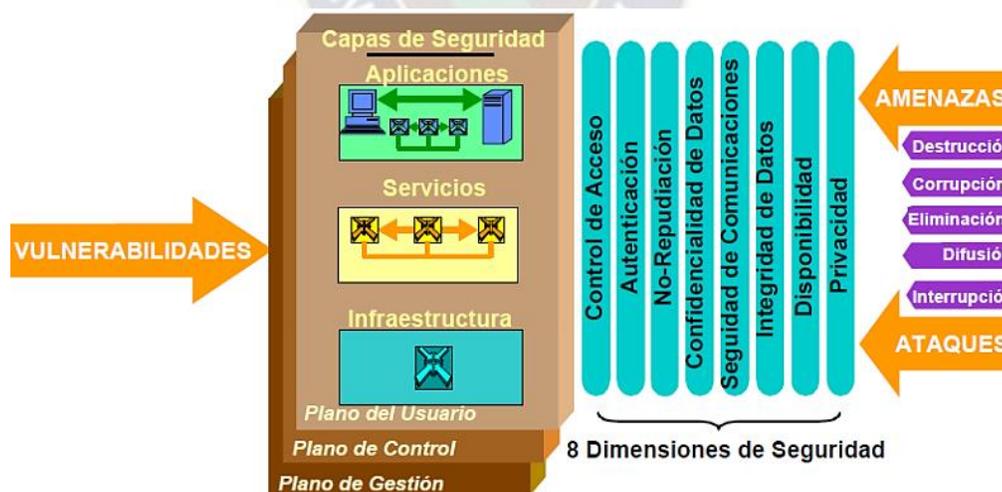
En la recomendación UIT-T X.805 se expone el marco para la arquitectura y las dimensiones que garantizan la seguridad extremo a extremo para redes de telecomunicaciones, como es el caso de la operadora de telefonía móvil VIVA. La arquitectura de seguridad se define teniendo en cuenta tres conceptos principales: las capas, los planos y dimensiones. Las capas de seguridad tienen que ver con los requisitos aplicables a los elementos de red y sistemas que constituyen la red de extremo a extremo. El sistema de capas proporciona una perspectiva jerárquica de la seguridad extremo a extremo de la red basada en la seguridad capa por capa.

Existen tres capas de seguridad: **1)** la capa de infraestructura; **2)** de servicios, y **3)** de aplicaciones. Cada capa tiene sus propias vulnerabilidades y por lo tanto se deberán definir las medidas para contrarrestarlas en cada una de ellas. La capa de infraestructura comprende los dispositivos de transmisión de red, así como los elementos que la componen, por ejemplo, son parte de dicha capa los routers, los conmutadores, los servidores y los enlaces de comunicación entre ellos. La capa de servicios tiene que ver con la seguridad de los servicios de red que la operadora de telefonía móvil VIVA presta a sus clientes, yendo desde servicios básicos de

transporte y conectividad móvil, como los enlaces inalámbricos fijos para el servicio Internet “Sin Límites”. La capa de aplicaciones tiene que ver con la seguridad de las aplicaciones de la red Internet a las que acceden los usuarios de la red móvil, y que van desde las básicas como el correo electrónico, hasta las más sofisticadas como la videoconferencia.

El segundo eje central del marco de trabajo tiene que ver con la seguridad de las diferentes actividades que se efectúan en la red móvil por parte de la operadora de telefonía VIVA. Para ello, se definen tres planos de seguridad: 1) el plano de gestión; 2) de control; y 3) de usuario. El plano de gestión, tiene que ver con las actividades relacionadas, por ejemplo, la configuración de un usuario o una red, entre otras. El plano de control se relaciona con los aspectos de señalización necesarios para establecer y modificar la comunicación extremo a extremo a través de la red, sin importar el medio y la tecnología utilizados en ella. Y el plano de usuario tiene que ver con la seguridad cuando se accede y utiliza la red; en este plano también se considera la seguridad de flujos de datos del usuario.

**Figura Nº 3.12 Esquema completo de la seguridad en una red 5G.**



**Fuente:** [https://compartiendoBYTES.files.wordpress.com/2010/07/x805\\_osstmm.pdf](https://compartiendoBYTES.files.wordpress.com/2010/07/x805_osstmm.pdf)

Además en el marco de seguridad de redes de telecomunicaciones también se definen ocho dimensiones: 1) Autenticación; 2) Control de Acceso; 3) Disponibilidad; 4) No Repudio; 5) Confidencialidad; 6) Seguridad en la Comunicación; 7) Privacidad,

e 8) Integridad de los Mensajes. Para el despliegue de la red 5G NSA, la operadora de telefonía móvil VIVA deberá cumplir con las siguientes directrices de seguridad de acuerdo a la recomendación UIT-T X.805:

1. **Autenticación.** Controlar la identidad usuarios, dispositivos, servicios y aplicaciones para evitar suplantaciones de identidad y fraudes.
2. **Control de Acceso.** Limitar y controlar el acceso no autorizado a los recursos y elementos de red y a los servicios y aplicaciones.
3. **Disponibilidad.** Precautelar los servidores y terminales contra ataques maliciosos que intenten ponerlos fuera de servicio y afecten a la continuidad en la prestación del servicio de transmisión de datos y de Internet.
4. **No Repudio.** Prevenir la habilidad para denegar una actividad que ocurrió sobre la red mediante mecanismos que prueben las actividades del usuario.
5. **Confidencialidad.** Implementar mecanismos como encriptación o listas de acceso que eviten que usuarios no autorizados puedan inspeccionar los mensajes de señalización y datos de usuarios autorizados.
6. **Seguridad en la Comunicación.** Garantizar que los datos solo fluyan de una fuente a un destino autorizado.
7. **Privacidad.** Asegurar que la identificación y actividades de los usuarios en la red se mantengan en privado.
8. **Integridad de Datos.** Prevenir que usuarios no autorizados puedan manipular y alterar los paquetes de voz.

A medida que crece la utilización del servicio de transmisión de datos e Internet mediante redes móviles 4G y próximamente mediante 5G, también aumentan las preocupaciones por la seguridad de las comunicaciones. La transmisión de datos y la navegación por Internet se apoya necesariamente en todas las capas del modelo OSI y protocolos ya existentes de las redes de datos. Debido a esto, la transmisión de datos y la navegación por Internet presentan ciertos problemas de las capas y

protocolos ya existentes, siendo algunas de las amenazas más importantes los problemas clásicos de seguridad que afectan al mundo de las redes de datos. Algunos de estos ataques tendrán como objetivo el robo de información confidencial y algunos otros degradar la QoS del servicio o anularlo por completo.

El procesamiento de datos es vital para la tecnología 5G, este procesamiento se lleva a cabo en el núcleo de la red móvil de la operadora de telefonía VIVA, donde convergen distintas las redes por medio de diversos dispositivos electrónicos de acuerdo al ambiente que se encuentren; generando una alta demanda de acceso a los servicios presentes según los escenarios como aplicaciones industriales, segmentos corporativos, servicios de multimedia, y gran gama de servicios aun no definidos. Por consiguiente, el núcleo es de vital importancia en estas redes y cumple con funciones como seguridad de Autenticación, Autorización y Contabilización (AAA, Authentication, Authorization & Accounting), administración de equipos móviles, direccionamiento de datos, Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service), requerimientos como servicios de emergencias, entre otras.

Asimismo el protocolo AAA proporciona un mecanismo de administración de usuarios e incluye las siguientes funciones:

- **Autenticación:** Verifica la identidad de los usuarios para el acceso a la red.
- **Autorización:** Autoriza a los usuarios a utilizar servicios particulares.
- **Contabilidad:** Registra los recursos de red utilizados por los usuarios.

Los usuarios pueden usar uno o más servicios de seguridad proporcionados por AAA. Por ejemplo, si una empresa desea autenticar a los empleados que acceden a ciertos recursos de la red, el administrador de la red solo necesita configurar un servidor de autenticación. Si la compañía también desea registrar las operaciones realizadas por los empleados en la red, se necesita un servidor de contabilidad. AAA evita que usuarios no autorizados inicien sesión en un dispositivo y mejora la seguridad del sistema.

En resumen, AAA autoriza a los usuarios a acceder a recursos específicos y registra las operaciones de los usuarios. AAA se utiliza ampliamente porque presenta una buena escalabilidad y facilita la administración centralizada de la información del usuario. El protocolo AAA se puede implementar utilizando múltiples subprotocolos, como Diameter y RADIUS.

En el año 2000, el grupo de trabajo RADIUS del IETF dio por finalizado su trabajo y, un nuevo grupo, llamado AAA, comenzó a trabajar en la búsqueda del sucesor al protocolo de Servicio de Marcado de Usuario para Autenticación Remota (RADIUS, Remote Authentication Dial In User Service). Los requerimientos para el futuro protocolo fueron definidos en la RFC 2989, teniendo en cuenta diversos aspectos, como: escalabilidad, fiabilidad, autenticación mutua entre cliente y servidor, confidencialidad, integridad, soporte de IPv4 e IPv6, soporte de "roaming", etc. Los protocolos considerados eran: Protocolo de Administración Simple de Red (SNMP, Simple Network Management Protocol), RADIUS++ y Diameter; siendo éste último, el finalmente ganador.

Diameter se ha convertido en un protocolo de señalización indispensable en las redes 4G LTE e IMS, soportando funciones críticas, tales como la autenticación, autorización, contabilidad, gestión de movilidad, control de políticas de usuario y facturación. Así, Diameter, esta pensado para ser el sustituto del protocolo de Señalización Número 7 (SS7, Signaling System Number 7) de las redes 2G y 3G, ya que Diameter permite el intercambio de datos del perfil del abonado. Este subprotocolo tendrá también un papel importantísimo en las futuras redes 5G.

La empresa China Huawei presentó el libro blanco sobre la seguridad en las redes 5G, bajo el título *“Colaborando con la Industria para garantizar la seguridad en las redes 5G”*, el informe analiza la posición de los expertos de la industria de las telecomunicaciones y las organizaciones de estándares internacionales, quienes aseguran que los riesgos de seguridad de las redes 5G pueden gestionarse, de manera efectiva, gracias a protocolos y estándares de seguridad, así como a mecanismos que garanticen la confidencialidad, integridad de la información de los usuarios y la disponibilidad del servicio.

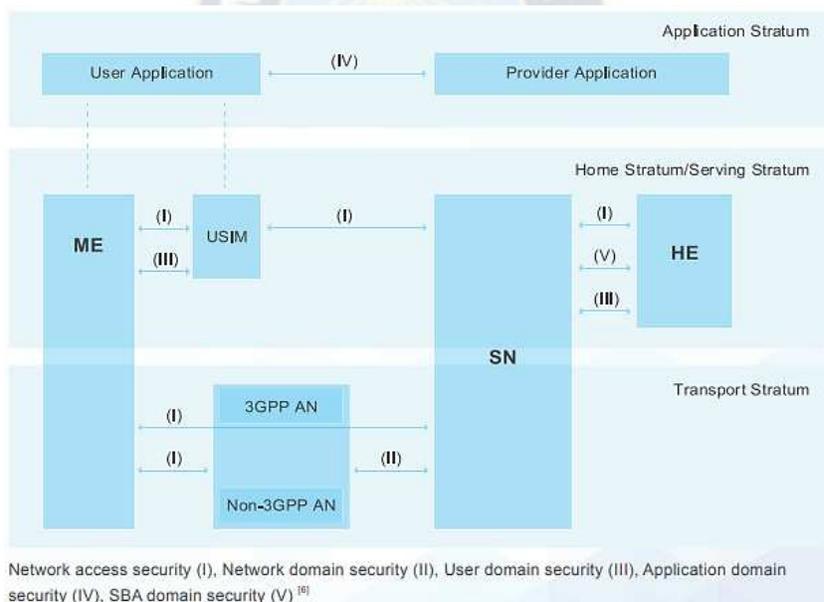
Tomando como base la experiencia en seguridad de las redes 4G, la gestión de los riesgos de seguridad en 5G se logra a través de esfuerzos conjuntos de toda la industria. Para ello, es necesario mejorar las soluciones de seguridad a través de la innovación tecnológica, y construir sistemas y redes seguras basadas en estándares y en la cooperación de todo el ecosistema. En ese sentido, el libro blanco expone las siguientes recomendaciones a los diferentes actores del ecosistema:

- **Proveedores de soluciones y equipos:** Deben contribuir en el trabajo de definición de estándares de seguridad de la industria, cumplir con dichos estándares, e integrar tecnologías de seguridad para construir equipos seguros. Junto con clientes y otros miembros del ecosistema, deben proporcionar la capacidad y funcionalidad necesaria para que los operadores puedan garantizar una operación segura y la ciberseguridad de sus redes.
- **Operadores:** Son responsables de la operación segura y de la ciberseguridad de sus propias redes. Los operadores deben prevenir ataques externos con firewalls y pasarelas de seguridad. Para las amenazas internas, los operadores pueden gestionar, monitorizar y auditar a todos sus proveedores y partners para asegurarse de que sus elementos de red son seguros.
- **Reguladores:** Como parte de la industria de las telecomunicaciones, deben trabajar todos de forma conjunta en estándares de ciberseguridad. En términos de tecnología, es necesario contextualizar continuamente los riesgos de seguridad en redes 5G (slicing, Edge Computing, IoT masivo, y otros escenarios) y mejorar la seguridad basada en protocolos. En términos de garantías de la seguridad, es fundamental estandarizar los requisitos de ciberseguridad y asegurar que estos estándares sean aplicables y verificables para todos los actores de la industria.

Para el caso de la red de la operadora de telefonía móvil VIVA, de acuerdo al libro blanco sobre la seguridad en las redes 5G de la empresa Huawei, se tienen los siguientes lineamientos:

En la actualidad, la SA3 3GPP ha desarrollado normas de seguridad R15 5G y está desarrollando estándares de seguridad R16 5G. Para asegurar que las normas 5G avancen constantemente a todos los niveles técnicos, el 3GPP está desarrollando estándares de seguridad al mismo ritmo que los estándares de arquitectura e inalámbricos. Las normas R15 5G han definido normas y arquitecturas de seguridad para escenarios eMBB, que abarcan la arquitectura SA y NSA. Basado en la arquitectura de seguridad las normas R15 5G, R16 y R17 cubrirán la optimización de seguridad para escenarios mMTC y URLLC. La arquitectura de seguridad de las redes móviles es jerárquica y clasificada por el dominio en diseño. La arquitectura de seguridad de 5G contiene los siguientes dominios de seguridad:

**Figura N° 3.13 Dominios de seguridad para la arquitectura 5G.**



**Fuente:** <http://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/white%20paper/2019/huawei-5g-security-white-paper-4th-en.pdf>

- **Seguridad de acceso a la red (I):** Contiene el conjunto de características de seguridad que habilita a un UE para autenticarse y acceder a servicios través de la red de forma segura, incluyendo el acceso 3GPP y No-3GPP y en particular, para proteger contra los ataques a las interfaces (radio). Además, incluye la entrega del contexto de seguridad desde SN a la AN para la seguridad de acceso.

Asimismo, mecanismos específicos de seguridad que incluyen autenticación bidireccional, cifrado de transmisión y protección de la integridad de datos.

- **Seguridad del dominio de red (II):** Contiene el conjunto de características de seguridad que permiten a los nodos de manera segura el intercambio de datos de señalización y del plano del usuario. La seguridad del dominio de red define características de seguridad para interfaces entre las redes de acceso y núcleo y entre redes locales y de servicio<sup>4</sup>. La separación entre las redes de acceso y el núcleo es tan clara como en 4G. Para las interfaces entre la RAN y el Core, los mecanismos de seguridad específicos, como IPsec, pueden utilizarse para brindar protección y separación de la seguridad.
- **Seguridad de dominio de usuario (III):** Contiene el conjunto de características de seguridad que aseguran el acceso de usuario al equipo móvil. El equipo móvil utiliza mecanismos de seguridad interna, como un código de Número de Identificación de Propiedad (PIN, Property Identification Number), para garantizar la seguridad entre el equipo móvil y el Módulo de Identidad del Suscriptor Universal (uSIM, Universal Subscriber Identity Module).
- **Seguridad del dominio de aplicación (IV):** Contiene el conjunto de características de seguridad que permiten a las aplicaciones en el dominio de usuario y en el dominio del proveedor intercambiar mensajes de forma segura. Los mecanismos de seguridad del dominio de aplicación son transparentes a toda la red móvil y son proporcionados por los proveedores de aplicaciones.
- **Seguridad de dominio SBA (V):** Contiene un conjunto de características de seguridad que habilitan las funciones de red de la Arquitectura Basada en Servicios (SBA, Service Based Architecture) para comunicarse de forma segura dentro del dominio de la red de servicio y con otros dominios de la red. Estas características incluyen aspectos de registro de la función de red, descubrimiento y aspectos de seguridad de autorización, así como protección de interfaces

---

<sup>4</sup> El estrato local contiene los protocolos y funciones relacionados con el manejo y almacenamiento de los datos de suscripción de los usuarios y de los servicios específicos de la red local. El estrato de servicio es un subestrato del estrato local y consiste de protocolos y funciones para el ruteo y envío de datos e información generados por los usuarios o la red, de la fuente al destino.

basadas en servicio. La seguridad de dominio SBA es una nueva característica de seguridad de 5G. Una SBA constituye la base del núcleo de red de 5G. Para garantizar la seguridad entre UEs en el SBA, los mecanismos de seguridad, tales como la Seguridad de Capa de Transporte (TLS, Transport Layer Security) y el marco de Autorización Abierta (OAuth, Open Authorization), son necesarios.

- **Visibilidad y configurabilidad de la seguridad (VI):** Contiene el conjunto de características que permiten al usuario estar informado si una característica de seguridad está en operación o no. La visibilidad y la capacidad de configuración de la seguridad no se muestran en la Figura 3.13.

La arquitectura de seguridad de 5G, al igual que la arquitectura de seguridad de 4G, consiste en un estrato de transporte, de servicio, doméstico y de aplicación, que se encuentran aislados unos de otros de manera segura. A continuación, se describen los estratos de seguridad de 5G:

- **Estrato de transporte:** Esta situado en la parte inferior de la arquitectura general, el estrato de transporte tiene una baja sensibilidad de seguridad. Incluye algunas funciones del UE, todas las funciones del gNodeB y algunas funciones del núcleo de red, como la Función de Plano de Usuario (UPF, User Plane Function). Estas funciones, excepto las funciones del UE, no involucran datos sensibles, tales como Identificadores de Suscripción Permanente (SUPI, Subscription Permanent Identifiers) y claves de usuario raíz. Ellos manejan sólo claves de bajo nivel en la jerarquía de claves, por ejemplo, claves de acceso de usuario. Las claves de bajo nivel pueden estar derivadas, reemplazadas o actualizadas por una clave de alto nivel en el estrato domestico/servicio. Sin embargo, una clave de bajo nivel no puede originar una clave de alto nivel.
- **Estrato de servicio:** Tiene una sensibilidad de seguridad relativamente alta e incluye funciones del núcleo de la red de una red doméstica del operador como también la Función de Gestión de Acceso y Movilidad (AMF, Access and Mobility Management Function), la Función de Repositorio de Red (NRF, Network Repository Function), Proxy de Protección de Seguridad de Borde (SEPP, Security Edge Protection Proxy) y la Función de Exposición de Red (NEF,

Network Exposure Function). Las funciones de núcleo de red de este estrato maneja solamente claves derivadas de nivel medio (tales como las claves AMF) en la jerarquía de claves. Una clave de nivel medio puede ser derivada, reemplazada o actualizada por una clave de alto nivel en el estrato domestico de la red. Sin embargo, una clave de nivel medio no puede originar una clave de alto nivel. Este estrato no involucra a los nodos gNodeB.

- **Estrato doméstico:** Este estrato tiene una alta sensibilidad de seguridad e incluye la Función de Servidor de Autenticación (AUSF, Authentication Server Function) y Gestión Unificada de Datos (UDM, Unified Data Management) de la red doméstica del operador, así como el uSIM en la UE, y por lo tanto contiene datos sensibles como los SUPIs, claves de usuario raíz y de alto nivel. Este estrato no involucra a los nodos gNodeB u otras funciones del núcleo de red.
- **Estrato de aplicación:** Esta estrechamente relacionada con los proveedores de servicios, pero apenas relacionada con las redes de operador. El estrato de aplicación implica aplicaciones 5G que, similar a las aplicaciones 4G, necesita una garantía de seguridad de Extremo a Extremo (E2E, End to End) para servicios que requieren de una alta seguridad, además de seguridad de transporte. Por ejemplo, el pago por móvil requiere una garantía de seguridad E2E en este estrato, aunque se garantice la seguridad de transporte en la red 4G, para garantizar la seguridad y exactitud de las transacciones.

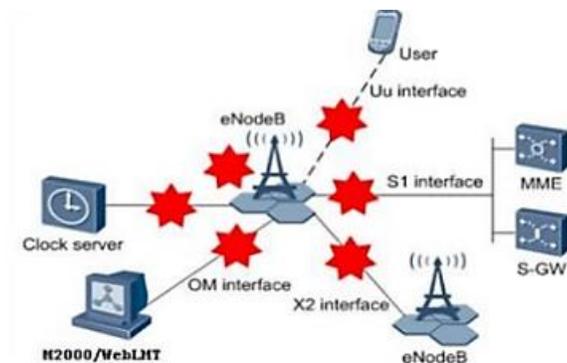
La red 5G hereda la arquitectura de seguridad de la red 4G con diferentes estratos y dominios. Las redes de acceso y núcleo de 5G tienen límites claros, interconexión a través de protocolos estándar, soportan interoperabilidad con inter vendedor y tienen mecanismos de protección de seguridad basada en estándares. En términos de riesgos de seguridad cibernética, los reguladores necesitan controlar los cuatro estratos, los proveedores de servicios necesitan monitorear la capa de aplicación, los operadores deben supervisar la de transporte, los proveedores de servicio, redes domésticas y de equipos deben centrarse en el equipo de red subyacente. Todas las industrias deberán trabajar en conjunto para abordar los desafíos de seguridad presentados por los servicios, arquitecturas y tecnologías bajo una arquitectura estándar.

La red 5G SA soporta más características de seguridad para hacer frente a posibles amenazas de seguridad en el futuro ciclo de vida de 5G. Las redes 5G NSA y 4G comparten los mismos mecanismos de seguridad y procesos estándar y se esta perseverando para seguir mejorando sus niveles de seguridad. En este aspecto se tiene:

- **Mayor seguridad de la interfaz de aire:** Además de la encriptación de datos de usuario en redes 2G, 3G y 4G, los estándares de 5G proporcionan protección de integridad de datos de usuario para evitar que los mismos sean manipulados.
- **Mayor protección de la privacidad de usuario:** En las redes 2G, 3G y 4G, los IDs permanentes de usuarios (Identidad Internacional de Suscriptor Móvil – IMSIs), se transmiten en texto plano sobre la interfaz de aire. Los atacantes pueden aprovechar esta vulnerabilidad mediante ataques para capturar el IMSI con la finalidad de rastrear usuarios. En redes de 5G, los ID permanentes de usuarios (en este caso, SUPIs) se transmiten en texto cifrado para protegerlos contra tales ataques.
- **Mejor seguridad en roaming:** Generalmente, los operadores deben establecer conexiones a través de terceros (otros operadores). Los atacantes pueden crear nodos de núcleo de red legítimos para iniciar ataques al SS7 y otros ataques por la manipulación de dispositivos de terceros operadores. 5G SBA define el SEPP para implementar la protección de seguridad E2E para la señalización inter operador en los estratos de transporte y aplicación. Esto evita que dispositivos de terceros operadores que manipulen datos sensibles (por ej. claves, ID de usuario y SMS) sean intercambiados entre núcleos de redes.
- **Algoritmos criptográficos mejorados:** Las normas R15 de 5G actualmente definen mecanismos de seguridad tales como la transmisión claves de 256 bits. Futuras estándares de 5G soportarán algoritmos criptográficos de 256 bits para asegurar que tales algoritmos utilizados en las redes de 5G son lo suficientemente resistentes a los ataques de ordenadores cuánticos. El 3GPP ha recomendado que el Grupo de Expertos de Algoritmos de Seguridad (SAGE,

Security Algorithms Group of Experts) de la ETSI comience a evaluar los algoritmos criptográficos de 256 bits.

**Figura N° 3.14 Arquitectura del sistema 4G LTE y amenazas y seguridad.**



Fuente: <https://es.slideshare.net/MohamedTharwatWaheed/lte-security-solution-white-paper20130207>



## CAPITULO IV

### MARCO CONCLUSIVO

#### 4.1. CONCLUSIONES

- La red de acceso se basa en la utilización de las mismas estaciones base con tecnología Huawei 4G LTE de la empresa VIVA, ya que el modelo de dichas estaciones cuentan con la ventaja de poder contar con una evolución que permite la convergencia a la tecnología LTE, así 5G operaría en el modo NSA para compartir los recursos de la red móvil de datos.
- Este estudio de la oferta y la demanda es necesario realizarlo, debido a que el mercado objetivo presenta alto grado de dinamismo, por la constante adopción de tecnologías que se encuentra en una etapa madura y la penetración de dispositivos móviles cada vez se incrementa más, por ejemplo según datos estadísticos más de un 83% de los bolivianos tiene un teléfono celular y en La Paz un 80% cuenta con un celular. Sin embargo, el 50% de la población en Bolivia cuenta con un teléfono inteligente con conexión a datos.
- Según la información obtenida de la empresa Nuevatel VIVA PCS, esta cuenta con el 26% del mercado de la telefonía móvil a nivel nacional y en los últimos años ha tenido un crecimiento sistemático y sostenido, actualmente cuenta con más de dos millones de abonados activos.
- Para la detección, selección y ubicación de la radiobases que se encuentran en la zona para 5G, se eligió la aplicación Netmonitor que es una aplicación disponible para Android que va a permitir conocer diferentes detalles sobre la conexión móvil 4G LTE así como su intensidad (RSSI), tipo de conexión, datos de la antena a la que se está conectado, radiobases cercanas, etc.
- La arquitectura 4G con la que cuenta la empresa Nuevatel VIVA se trata de una arquitectura mixta donde es posible ver que las redes de voz 2G y de acceso 3G conviven juntos con la misma red de núcleo, haciendo que las tecnologías 2G y

3G funcionen de manera paralela, además Nuevatel VIVA también tiene incorporado a este núcleo de red la tecnología 4G LTE, esto se pudo constatar por que al utilizar la herramienta Netmonitor se pudo capturar las radiobases con tecnología LTE.

- De acuerdo a la información obtenida se tiene un tráfico aproximado de 42 Erlangs en la hora pico en tres sectores por radiobase, que corresponde a las 12:00 del medio día. Cabe aclarar que este tráfico involucra los servicios de voz y datos por lo que se asume un 80% de conexiones de datos UMTS o LTE que corresponde a 33,6 Erlangs y un 20% de conexiones de voz GSM que corresponde a 8,4 Erlangs.
- En el presente proyecto para 5G NSA, se aplicarán el OFDM de Prefijo Cíclico o CP-OFDM para protección contra la interferencia entre símbolos, como por ejemplo la causada por el multitrayecto de la señal en el enlace descendente y OFDM Extendido por la Transformada Discreta de Fourier en el ascendente o DFT-S-OFDM, de manera que se consiga una relación de potencia de Pico a Potencia Promedio Baja (PAPR, Peak to Average Power Ratio), permitiendo una mejor eficiencia en los amplificadores de potencia de los terminales móviles.
- Los esquemas de modulación más comunes para 5G son: QPSK y 8PSK, eligiéndose esta última. La gran ventaja de las modulaciones PSK es que la potencia de todos los símbolos es la misma, por lo que se simplifica el diseño de los amplificadores y etapas receptoras lo que significa reducción de costos, dado que la potencia de la fuente es constante. Se trabaja con la modulación 8PSK ya que presenta 3 bits por símbolo y además de que este método cuenta con una ventaja que radica esencialmente en la cantidad de bits por símbolo, lo que ayuda en uno de los objetivos de las comunicaciones digitales, que es el de transmitir la mayor cantidad de información para 5G, es decir, a mayor velocidad y a mayor compresión.
- Para el proyecto se mantendrá la tecnología utilizada por VIVA que utiliza la tecnología del proveedor HUAWEI con la BSC 6900, la misma que tiene la posibilidad de conmutar a LTE sin realizar muchos cambios significativos en los

equipos necesarios en la implementación de una red 5G, solamente se incluyen los equipos como las unidades de radiofrecuencia, los módulos de sistema y el hardware para la parte de virtualización AirScale de Nokia.

- De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias de Bolivia la banda propuesta para que opere 5G es 2.500 – 2690 MHz (3GPP Banda 41).
- Tomando como base la experiencia en seguridad de las redes 4G, la gestión de los riesgos de seguridad en 5G se logra a través de esfuerzos conjuntos de toda la industria. Para ello, es necesario mejorar las soluciones de seguridad a través de la innovación tecnológica, y construir sistemas y redes seguras basadas en estándares y en la cooperación de todo el ecosistema.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar una investigación en la Autoridad de Fiscalización y Control social de Transportes y Telecomunicaciones (ATT) en mayor profundidad sobre si el espectro de frecuencias AWS esta habilitado para la utilización de la tecnología 5G para la empresa Nuevatel VIVA PCS y si podría causar interferencias en las redes de otros operadores.
- También se recomienda realizar un estudio de la aplicabilidad de la red 5G para el servicio de datos e Internet de manera fija para los usuarios de la empresa Nuevatel VIVA PCS.

### 4.3. BIBLIOGRAFÍA

- (AGETIC, 2018) AGETIC (2018). **Estado TIC. Estado de las Tecnologías de Información y Comunicación en el Estado Plurinacional de Bolivia.**  
Recuperado el domingo 14 de abril de 2019, de <https://agetic.gob.bo/pdf/estadotic/AGETIC-Estado-TIC.pdf>
- (Agusti, 2010) Agusti Comes, Ramón (2019). **“LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles”.**  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de [http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro\\_lte.pdf](http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro_lte.pdf)
- (APA, N. 2018) Normas APA (2018). **¿Cómo enfocar la tesis? Enfoque cuantitativo y cualitativo.**  
Recuperado el domingo 14 de abril de 2019, de <http://normasapa.net/tesis-enfoque-cuantitativo-cualitativo/>
- (EcuRed, 2019) Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana (2019). **“Telefonía móvil 3G”.**  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de [https://www.ecured.cu/Telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil\\_3G](https://www.ecured.cu/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_3G)
- (EcuRed, 2019) Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana (2019). **“Telefonía móvil 4G”.**  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de [https://www.ecured.cu/Telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil\\_4G](https://www.ecured.cu/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G)
- (González, 2016) González Plaza, Ana María (2016). **“Redes móviles 5G en escenarios críticos y con alto tráfico”.** Universidad Politécnica de Madrid.  
Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, ETSI y Sistemas de Telecomunicación (UPM). Madrid – España.  
Recuperado el domingo 14 de abril de 2019, de [http://oa.upm.es/44180/1/TFG\\_ANA\\_MARIA\\_GONZALEZ\\_PLAZA.pdf](http://oa.upm.es/44180/1/TFG_ANA_MARIA_GONZALEZ_PLAZA.pdf)

- (Jácome, 2017) Jácome Rodríguez, Diana (2017). ***“Diseño de un plan de acción para la implementación de la futura tecnología 5G en el Ecuador”***. Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil – Ecuador. Recuperado el domingo 14 de abril de 2019, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99349/D-106166.pdf>
- (ITSS, 2015) Instituto Tecnológico Superior Sucre (2015). ***“2.5G: La generación de transición”***. Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de <http://tecnologiaaprendecel.blogspot.com/p/25g-la-generacion-de-transicion.html>
- (MASMÓVIL, 2019) MASMÓVIL TELECOM 3.0, S.A. (2019). ***“La evolución de la tecnología móvil: 1G, 2G, 3G, 4G...”*** Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de <https://blog.masmovil.es/la-evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>
- (Millán, 2006) Millán Tejedor, Ramón Jesús (2006). ***“IP Multimedia Subsystem. Convergencia total en IMS”*** Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/ims.php>
- (MyCommunity, 2019) My Community (2019). ***“¿Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G, 5G?”*** Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de <https://c.mi.com/thread-226423-1-0.html>
- (Sampieri et al., 2014) Sampieri Hernández, Roberto et al. (2014). ***Metodología de la Investigación***. Editorial Mc Graw Hill. 6ta. Edición.
- (Pérez, 2019) Pérez Mantilla, Susana (2019). ***“El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT”***. Master Universitario de Ingeniería de Telecomunicación. Universitat Oberta de Catalunya. Catalunya – España. Recuperado el domingo 14 de abril de 2019, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/90205/6/supermantillaTFM0119memoria.pdf>

- (Tomasi, W. 2001) Tomasi, Wayne (2001). ***Sistemas de Comunicaciones Electrónicas***. Editorial Prentice Hall.
- (Torrico, 2009) Torrico De la Fuente, Mauricio Andrés (2009). ***“Diseño de una Red de Acceso Inalámbrico Utilizando la Tecnología CDMA 450 MHz para el Área Rural”***.  
Proyecto de Grado de Ingeniería de Telecomunicaciones.  
Universidad de Aquino Bolivia. La Paz – Bolivia.
- (TutorialLTE, 2014) Tutorial LTE (2014). ***“Arquitectura de una red LTE”***  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de  
[http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura\\_red\\_lte.php](http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura_red_lte.php)
- (TutorialLTE, 2014) Tutorial LTE (2014). ***“Red de acceso E-UTRAN”***  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de  
<http://www.ipv6go.net/lte/eutran.php>
- (TutorialLTE, 2014) Tutorial LTE (2014). ***“Arquitectura de EPC”***  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de  
[http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura\\_epc.php](http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura_epc.php)
- (TutorialLTE, 2014) Tutorial LTE (2014). ***“Multiple Input Multiple Output – MIMO”***  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de  
<http://www.ipv6go.net/lte/mimo.php>
- (TutorialLTE, 2014) Tutorial LTE (2014). ***“SC-FDMA”***  
Recuperado el domingo 10 de junio de 2019, de  
<http://www.ipv6go.net/lte/sc-fdma.php>

# ANEXOS

## ANEXO I

### CAPTURAS DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN NETMONITOR



Punto de medición N° 1



Punto de medición N° 1



Punto de medición N° 2



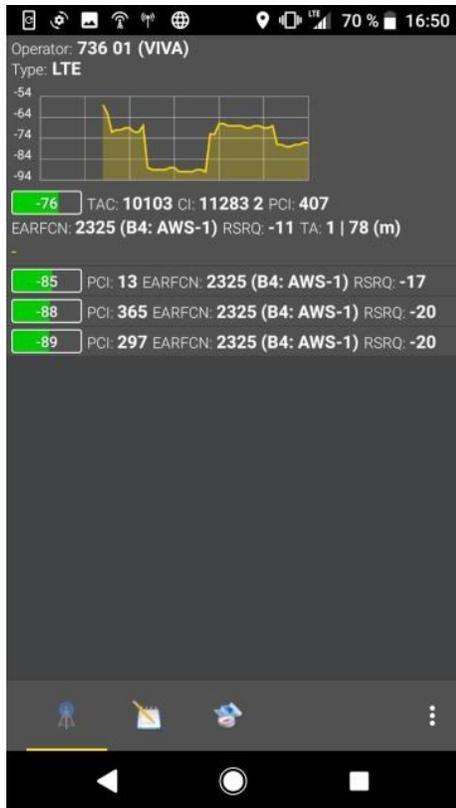
Punto de medición N° 2



Punto de medición N° 3



Punto de medición N° 3



Punto de medición N° 4



Punto de medición N° 4



Punto de medición N° 5



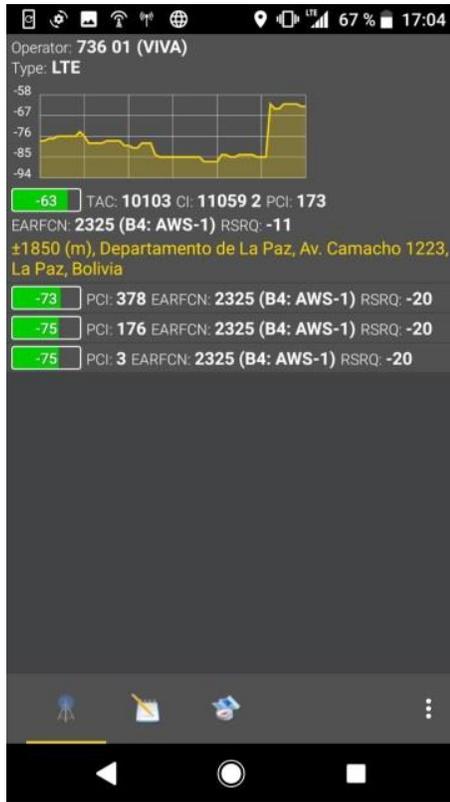
Punto de medición N° 5



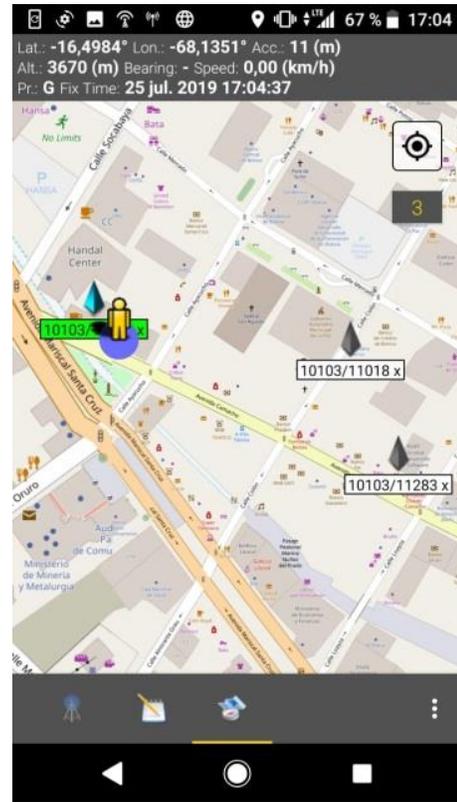
Punto de medición N° 6



Punto de medición N° 6



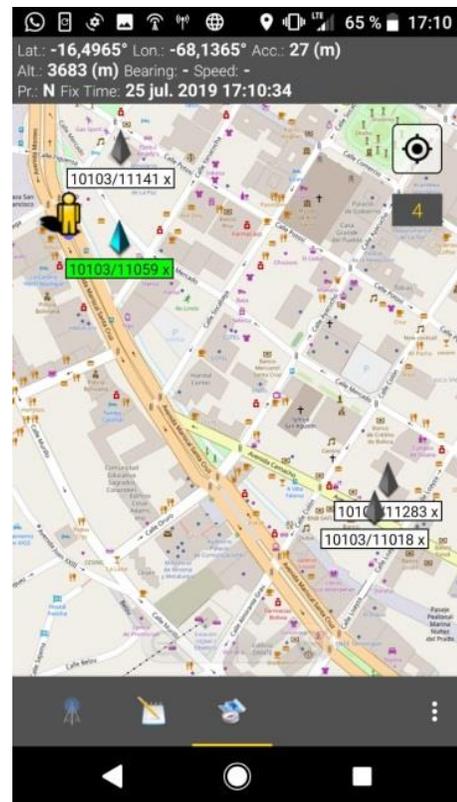
Punto de medición N° 7



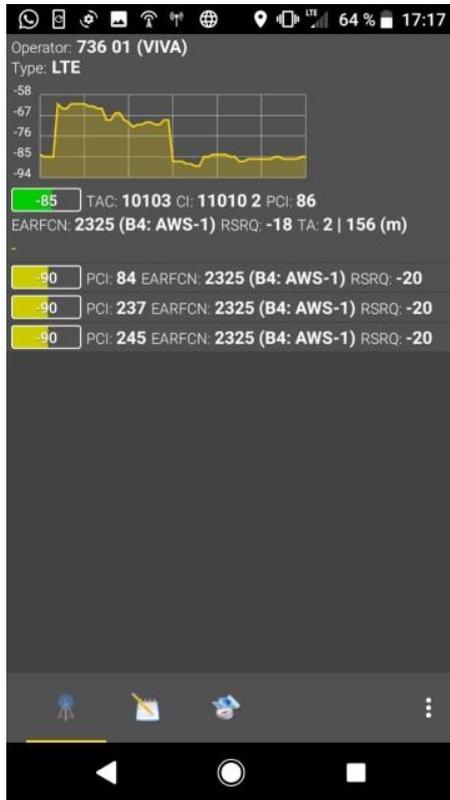
Punto de medición N° 7



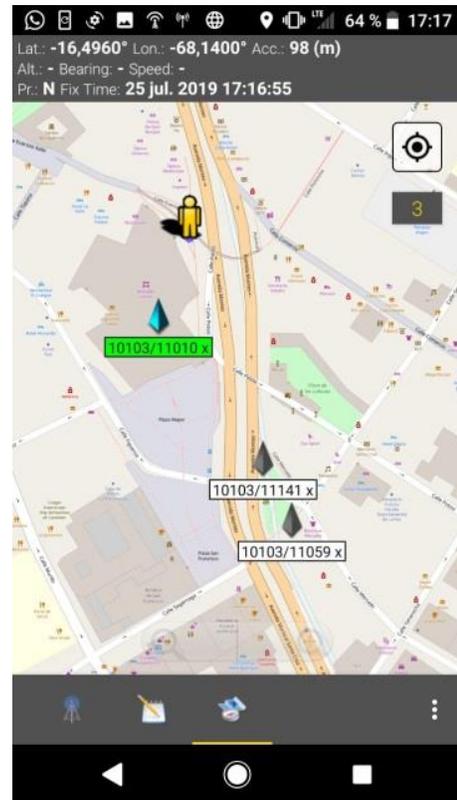
Punto de medición N° 8



Punto de medición N° 8



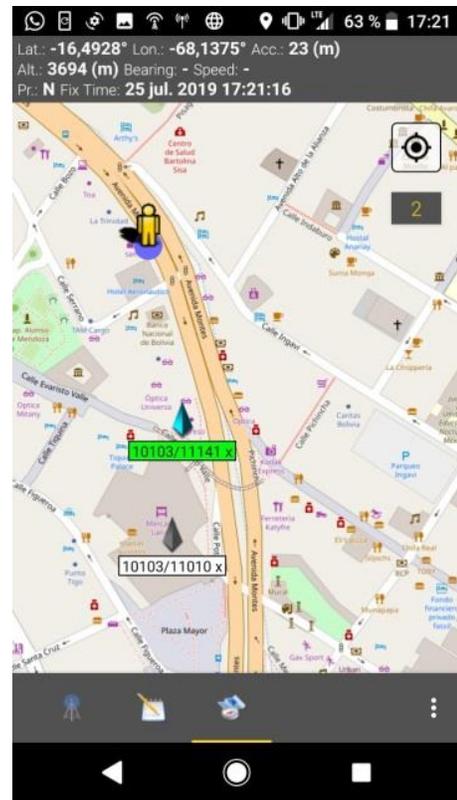
Punto de medición N° 9



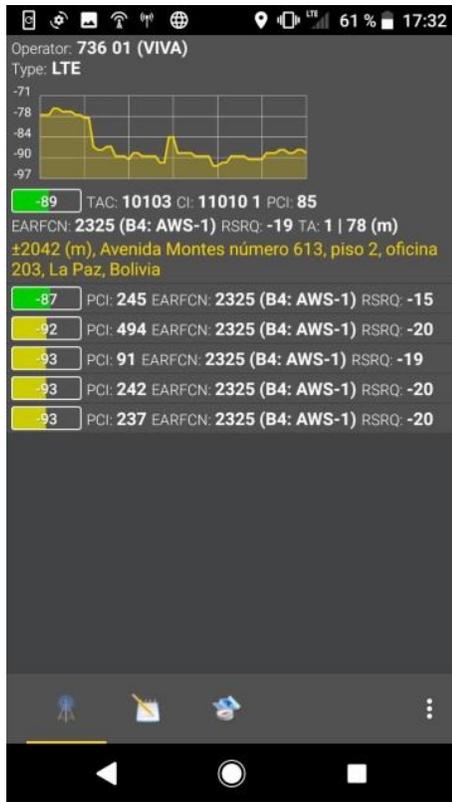
Punto de medición N° 9



Punto de medición N° 10



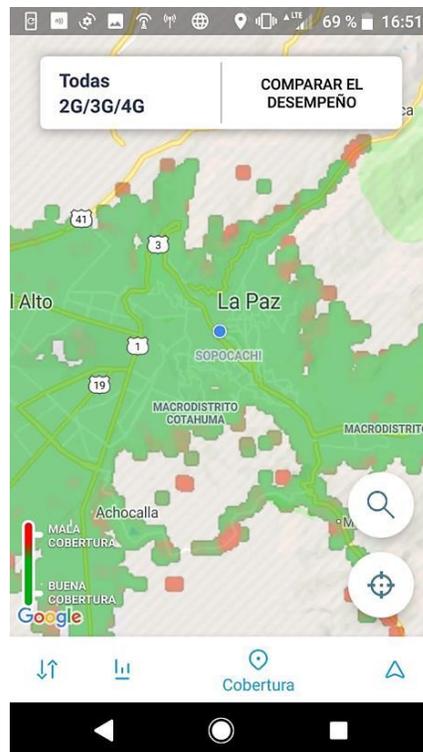
Punto de medición N° 10



Punto de medición N° 11



Punto de medición N° 11



Mapa de cobertura de la red móvil de Nuevatel VIVA PCS.

## ANEXO II

### TRANSCRIPCIÓN DE LA ENTREVISTA AL ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA EMPRESA NUEVATEL VIVA PCS

#### Instrumento de Medición (ENTREVISTA ENT)

**Fecha:** 03 / 06 / 19

**Nombre del Entrevistado:** Ing. Gary Flores.

**Cargo:** Encargado del Departamento de Planificación.

**Profesión:** Ingeniero Electrónico.

---

#### **OBJETIVO:**

Conocer los requerimientos de información en el propósito de desarrollar una estrategia de implementación de la tecnología 5G para que mejore la prestación del servicio de datos móviles para la empresa VIVA Nuevatel PCS en la ciudad de La Paz.

#### **PREGUNTAS:**

**1. ¿Cuál es la función que desempeña en el departamento de planificación de la empresa Nuevatel VIVA PCS?**

R.- Entre las funciones que desempeño en el departamento de planificación se encuentran las de desarrollar, implementar y gestionar la infraestructura de la red de comunicación móvil de la empresa VIVA.

**2. ¿En la empresa Nuevatel VIVA PCS se esta pensando implementar la tecnología 5G?**

R.- Todavía esta en desarrollo, entonces existe lo que tú ya has debido recopilar en información de 5G en función a las velocidades que se manejan, el ancho de banda en función del espectro, las frecuencias que se utilizan, etc. Pero sería mas interesante saber cómo se esta pensando cual va ser la utilidad de esta red, porque existe un pequeño gran detalle, la frecuencia que se va a utilizar son ondas muy pequeñas, eso quiere decir que debe existir una colusión – cooperación – de sistema de antenas para poder tener una cobertura adecuada y brindar un servicio continuo en una determinada zona, entonces para poder hacer esto factible, plausible y al final objetiva para poder comercializar la red como tal, lógicamente hay pasos que se están dando, si bien se han hecho pruebas en Australia en primera instancia, y estas últimas en el Congreso Mundial de Barcelona y recientes que se

están haciendo donde se ve que están llegando a velocidades muy altas, pero lógicamente estas pruebas son muy interesantes. Pero tú estas, básicamente tal vez, recién masticando todo lo que representa el 5G.

**3. ¿Sobre todo en la aparición de nuevos servicios y aplicaciones, obviamente un mayor ancho de banda y velocidad para tener también una mayor cantidad de usuarios y dispositivos conectados a la red, podría ser posible la utilización de la red 5G en la parte comercial o industrial tal vez?**

R.- Esta bien todo lo que estas pensando esta correcto, bien tendríamos que encaminarlo así, ya VIVA tiene un esquema y un protocolo como para poder hacer la validación de la información que tu quieres obtener al respecto, de manera muy general te podría decir que en función a la ultima tecnología que es la LTE que estamos manejando podemos dar el siguiente salto a 5G, estamos en ese camino.

**4. Entonces ¿Tal vez antes darían un salto a LTE-Advanced?**

R.- Si, por eso es progresivo, estamos en cumplir todas las etapas y lógicamente los beneficiados van a ser nuestros usuarios de la red inalámbrica fija los que nosotros denominamos o que van sobre LTE – TDD. Tu sabes que el LTE tiene dos ámbitos, uno que es el FDD y el otro que es el TDD, el FDD lo usamos para usuarios netamente móviles que tienen teléfono y tiene capacidad de manejar nuestra tecnología y la otra es la TDD que es la se utiliza en la red inalámbrica fija de VIVA. Para este propósito incluso hasta las telefónicas la están usando o los sistemas de vigilancia que por ejemplo las alcaldías de Cochabamba y Santa Cruz han optado por redes LTE de la marca Huawei que están en las ciudades y tienen el sistema de vigilancia, van sobre esa red, entonces eso esta operativo y es tuición de los municipios por lo que no han contratado servicios de ninguna una empresa de telecomunicaciones y nosotros lógicamente como VIVA tenemos el servicio activo que es el WiFi sin limites, es el nombre comercial en el que se puede adquirir un modem el cual se conecta a nuestra red y brinda el servicio dependiendo del plan que se contrate.

**5. ¿El servicio WiFi sin límites de VIVA es fijo?**

R.- Exacto, es lo que denominamos el LTE Fijo que es el TDD.

**6. Revisando la literatura, en Perú se esta pensando utilizar la banda de 700 MHz, porque el 5G esta pensado para GHz como 26 GHz, ¿seria esta banda útil para VIVA?**

R.- Justamente, en todo este afán que es lo más complicado, primero tienes que considerar un ancho de banda muy grande, como ya has investigado, para transmitir por aire toda esta capacidad tiene que ser por burst – por ráfaga – todo esta casado con el tema del ancho de banda del espectro de frecuencia, que es lo que vas a utilizar, como lo vas a utilizar, ahí están las antenas MIMO que tienen que estar en escena para cumplir y hay esquemas muy grandes

que se están pensando como 64 x 64 para poder cumplir con eso, pero también ningún dispositivo puede cumplir aun con esto, es por eso que están en pruebas de laboratorio para cumplirse con esta necesidad. Las antenas juegan un rol muy importante en hacer que esto se cumpla, lo que tu has hablado el tema de 700 MHz, a menor frecuencia mayor cobertura, es lo mismo si piensas en una radio convencional FM AM mientras la onda sea kilométrica o la onda corta esa gira alrededor de todo el globo terráqueo y esta cubre a todo lado pero cual es el inconveniente es que tu tienes un espacio muy limitado para poder emitir datos.

Ahí hay más cobertura pero menos ancho de banda, en el tema de manejo de frecuencias y manejo del espectro de radio las grandes potencias de subsistemas de seguridad y sistemas de control y telemetría y comunicación de todo lo que es submarinos, utilizan aun todo lo que son redes basadas en VHF o UHF tiene la capacidad de manejar datos pero no a alta velocidad y obviamente cuando los submarinos salen a superficie tienen otros sistemas y pueden tener conectividad de datos a alta velocidad, pero como están en el fondo del mar tienen comunicación con esas capacidades.

Hoy por hoy todo el mundo se ha olvidado de eso, hoy solamente vas ha escuchar un radiotaxi que utiliza la banda ciudadana para poder comunicarse, no pero comercialmente, son pocos, más es a nivel militar que se utiliza por esquemas de seguridad y a nivel comercial en algún caso también las petroleras utilizan todo lo que es el SCADA para la adquisición de datos cuando hacen perforaciones, tienen que hacer una medición de la perforación en tiempo real, cómo se esta comportando una perforación, todo lo que estoy diciendo son aplicaciones en función a todo lo que existe.

**7. Existe el 5G Stand Alone y Non Stand Alone, obviamente para que no sea un cambio radical se tiene el 4G en VIVA ¿podría existir una compatibilidad con la red existente?**

R.- Si, en algún momento ha estado pendiente el avance en el tema de telecomunicaciones, a medida que ha ido evolucionando las redes móviles ha llegado un punto en el que cuando estábamos en la tecnología 3.5G UMTS, hasta hoy en día, ya queriendo dar el salto a LTE la tecnología 3.75 ya fue denominada por la UIT como LTE, muchos han dicho no es UMTS y es como hablar ahorita del 4.75G que esta atado al LTE-A y hay el Advanced Plus.

**8. Se menciona que para el despliegue de las redes 5G se requiere de fibra óptica en la parte de transporte ¿es verdad este aspecto?**

R.- En si, en las redes móviles, una parte fundamental, es justamente, su red dorsal o backbone para proveer a cada nodo eNb, que se llama para LTE, el ancho de banda suficiente sino no tendría mucho sentido, mínimo tendríamos que llegar con velocidades de 10 Gbps a

cada nodo como para poder tratar de acercarnos, y el nodo lo único que tiene que hacer es tener la capacidad de hacer la difusión de esta capacidad a sus usuarios.

**9. Tenia entendido que VIVA empleaba radioenlaces de microondas en la parte de backbone para conectar las radiobases al centro de conmutación móvil ¿quería saber si solo a migrado a FO o mantienen estos radioenlaces o era un esquema hibrido?**

R.- Tenemos solamente fibra óptica en las ciudades capitales, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz también, en las ciudades pequeñas estamos con fibra también, obviamente hay varios poblados en el área rural donde no es para nosotros, comercialmente hablando, factible ni rentable darles un acceso de fibra óptica, solamente a las ciudades capitales, vale decir en los nueve departamentos, donde nosotros tenemos cobertura, pero si en el área rural si usamos radioenlaces de microondas y satelital en algún caso, pero así también hay la evolución tecnológica, por lo que estamos yendo de la mano del avance tecnológico, cosa que manejamos redes de microondas IP con anchos de banda interesantes, no nos estamos acercando todavía a los Gbps pero estamos a punto de alcanzar eso.

Puedes entrar al 3GPP donde están los estándares, también al GSMA que es la que se encarga de recopilar todas las estadísticas e información al día de todas las redes a nivel mundial. Ahora manejamos sistemas de antenas distribuidos dependiendo de la necesidad, antenas duales, antenas multibanda con las cuales tratamos de minimizar el consumo de energía, porque en algún caso no es que manejemos tecnologías independientes sino tecnologías en conjunto. Un solo equipo transceptor maneja 2G, 3G y LTE. A veces conmuta entre sistemas y eso tiene que ver con la capacidad de bajar a un límite inferior de velocidad de transmisión de datos.

**10. ¿En este momento siguen utilizando la red 2G GSM para voz en conjunción con la red LTE?**

R.- Si, ahora utilizamos un esquema que se llama Fall Back, nuestra red LTE, si no tenemos una buena cobertura, va a conmutar a otra red de baja capacidad, primero conmuta a UMTS y después a 2G donde se podría manejar EDGE, pero el usuario no debería de percibir este cambio de red.

**11. Con la red 5G ¿podríamos seguir también utilizando la red 2G para voz y 5G para datos o un esquema todo IP parecido a VoLTE?**

R.- La tendencia a nivel mundial es apagar las redes 2G, como en Europa y Asia existe el apagado de redes 2G, sin embargo, por temas de seguridad y confiabilidad y fácil manejo bueno más que todo es el tema de inversión, la empresa VIVA ha hecho una inversión y esta

asociado a aquello que sea conveniente, todavía usamos 2G eso es cierto, pero no creo que vayamos a utilizar esto más allá de unos 5 años. Por ejemplo, la seguridad implementada en el códec de 2G como AMR o los niveles de encriptación en el chip SIM hacen una red segura, porque si lo hacemos como VoLTE, va a hacer sobre IP e IP es hackeable e inseguro y ese es otro de los temas. Si estás investigando desde la óptica de las redes LTE, ahora que son full datos, tienen una brecha de seguridad muy grande, más grande que las redes cableadas de fibra, porque no se han tomado esas previsiones en la parte inalámbrica a nivel de los equipos, además que recién se está en proceso de implementar seguridad a los datos.

**12. El NOC, el Centro de Operación de Red de VIVA, ¿cumple con el estándar ISO 27001 de seguridad en redes de telecomunicaciones?**

R.- No, aun no estamos en camino todavía no hemos implementado ese estándar.

Gracias.

## ANEXO III

### TRANSCRIPCIÓN DE LA ENTREVISTA AL ENCARGADO DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE LA AUTORIDAD DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES (ATT)

#### Instrumento de Medición (ENTREVISTA ENT)

**Fecha:** 15 / 07 / 19

**Nombre del Entrevistado:** Ing. Arturo López.

**Cargo:** Encargado de la Unidad de Gestión del Espectro Electromagnético.

**Profesión:** Ingeniero Electrónico.

---

#### **OBJETIVO:**

Conocer los requerimientos de información en el propósito de desarrollar una estrategia de implementación de la tecnología 5G para que mejore la prestación del servicio de datos móviles para la empresa VIVA Nuevatel PCS en la ciudad de La Paz.

#### **PREGUNTAS:**

**1. ¿Cuál es la función que desempeña en la Unidad de Gestión del Espectro Electromagnético en la ATT?**

**R.-** Me encargo de dar información y asesorar a los titulares de las frecuencias licitadas del espectro radioeléctrico en lo referente a la parte legal y técnica enmarcado en la actual Ley 164 de Telecomunicaciones.

**2. ¿Cuáles son los requisitos previos que deben cumplir los operadores para prestar servicios de transmisión de datos 5G?**

**R.-** Se deben cumplir con ciertos requisitos cuando se tramitan las frecuencias para un operador de telefonía móvil, requisitos legales, así mismo tiene que cumplir con los lineamientos de la norma, que se le llama el Plan de Asignación de Frecuencias, por ejemplo, para que se otorguen bandas de 5G tiene que haber primero un Plan de Asignación de Frecuencias, establecido mediante una resolución ministerial del Viceministerio de Telecomunicaciones dependiente del Ministerio de Obras Públicas Servicios y Vivienda y este

instrumento legal posibilita a la ATT empezar a asignar este rango de frecuencias ya que indica el espectro de frecuencias a utilizar, por el momento para 5G no hay nada.

**3. En el proyecto se esta proponiendo Non Stand Alone donde la idea es que la red acceso sea compartida 5G con 4G de manera gradual para que a la operadora no le represente una fuerte inversión la migración a esta nueva tecnología. Como ya se mencionó la primera fase será la red Non Stand Alone para posteriormente implementar la red únicamente 5G, para lo cual se requiere saber la disponibilidad del espectro radioeléctrico, ya que a nivel internacional se esta yendo por los 26 GHz y se quiere saber para Bolivia ¿que proporción se esta pensando asignar para una red 5G, si va a ser 700 MHz, 800 MHz, o una banda que este reservada para servicios de telefonía móvil?**

R.- Se debe tener en cuenta que nosotros como Estado debemos seguir los lineamientos y recomendaciones internacionales de un ente válido para esto como lo es la UIT. La UIT no define una tecnología específica como 3G, 4G o 5G, difícilmente vas a encontrar documentación que haga referencia a eso, más que todo define estándares que se deben cumplir a nivel internacional, por ejemplo tal vez escuchaste de la IMT – Telecomunicaciones Móviles Internacionales –, las bandas candidatas son la IMT, lo que se recomienda para Bolivia es la implementación del 5G en bandas bajas debido al grado de penetración y porque van a brindar una transmisión de datos aceptable de acuerdo a la calidad de servicio requerida por la red móvil. La banda 26 GHz no esta pensada aun para Bolivia, en cambio la banda de 3.3 GHz si estaría pensada para este servicio, con sus característica y limitaciones para una primera etapa de implementación de 5G es factible hacer esto.

**4. ¿Tenía conocimiento de que AXS estaba con la banda de 3.4 GHz para su servicio de WiMax y por lo tanto existiría una banda libre para 5G?**

R.- En términos generales existe la posibilidad de que exista un espacio para 5G para lo cual se debe hacer una reingeniería del espectro radioeléctrico, acomodar los operadores que requieran y se deben liberar estas bandas, ya que las operadoras requerirán de parte de este espectro para 5G. Es posible implementar varias bandas de frecuencia para que 5G trabaje conjuntamente con 4G compartiendo una colocación en el sitio de la radiobase, las antenas, etc.

**5. ¿A nivel internacional la UIT definió un estándar técnico para la tecnología 5G?**

R.- La UIT establece bandas IMT para 5G, desde el año 2000 existen ciertos estándares que establece la UIT, por ejemplo en base a la IMT 2000 donde se establece lo que los sistemas 3G deberían haber cumplido, lo que se esperaba de estos sistemas, luego hicieron

evoluciones de éstos como la IMT Advanced que están relacionadas con redes 4G LTE y LTE-A. La UIT sacó como recomendación la IMT 2020, que son un conjunto de recomendaciones que se espera que los operadores de telecomunicaciones cumplan, por ejemplo una velocidad de 20 Gbps, una latencia de 1 mseg, etc. Un estándar a lo que se tiene que llegar son las normas 3GPP que han desarrollado la 5G, el cual es un nombre comercial, ya que este organismo que aglutina a varias empresas operadores fabricantes de telecomunicaciones y desarrollan recomendaciones internacionales y es un candidato a que cumpla todas las recomendaciones de la UIT para su funcionamiento. La 3GPP es lo que la mayoría de los países adopta ya que todos los fabricantes y todos los que están metidos en la industria al final establecen lo que se va a adoptar, pueden existir desarrollos particulares para cada país pero no es lo más conveniente por la compatibilidad.

#### **6. ¿Actualmente se han identificado porciones del espectro para la tecnología 5G?**

**R.-** Dentro de la 3GPP se han identificado ciertas porciones del espectro, son dos básicamente, las frecuencias que están por debajo de 6 GHz, son varias bandas de frecuencias y las frecuencias que están por encima de 24 GHz, por lo que se tiene la FR1 y la FR2 para las bandas inferiores a 6 GHz que es lo que está contemplado en el estándar de la 3GPP que se le conoce como New Radio o Interfaz de Radio NR 5G Nueva. Todas estas bandas son candidatas para 5G y actualmente están identificadas estas cuatro bandas para encima de 6 GHz como 26 GHz, 28 GHz, 34 GHz y 37 GHz. Estas dos bandas – FR1 y FR2 – se pueden complementar por ejemplo dentro de la banda de 6 GHz, asimismo están las bandas altas, intermedias y bajas que tienen sus propias características. Con las bandas altas es posible enviar mayor cantidad de datos ya que tiene un mayor ancho de banda, su contra está en que no tiene mucha cobertura, es más para un entorno limitado y al otro extremo estas las bandas más bajas, obviamente tienen mejor cobertura pero no tienen un buen ancho de banda y no proveen buena velocidad de transmisión de datos.

#### **7. ¿De acuerdo a la aplicación que se le da a 5G como se asignaría la respectiva banda de frecuencia?**

**R.-** El 5G tiene varias características por ejemplo está direccionado más al Internet de las Cosas donde todo está conectado con todo, pero como te comentaba para esto no se necesita una enorme cantidad de tráfico de datos para que todas las cosas estén interconectadas, en realidad sucede al contrario se requieren poca cantidad de tráfico de datos, por ejemplo un medidor de energía eléctrica no requiere estar traficando continuamente datos porque la información que te va a proporcionar es poca al día, por ejemplo que se conecte una vez al día e indique el valor de W-hr que está midiendo esto ocuparía un tamaño de menos de 1 MB, entonces para ese fin se pueden emplear bandas bajas ya que tienen una buena cobertura y no se requiere un gran ancho de banda, pero para

funciones de video de alta definición a resoluciones como 4K u 8K o aplicaciones que requieran un gran ancho de banda no solo se usan esas bandas bajas, también se complementan con bandas altas 24 GHz para arriba, pero sus desventajas son que trabajan en entornos muy cerrados, básicamente pico celdas o femto celdas, la cobertura está bien restringida, por un ejemplo una radiobase con estas frecuencias no te va a cubrir mucho más que un edificio, estas frecuencias operan mejor en interiores, por ejemplo dentro del Mega Center o lugares no muy poblados, pero no pasarán más de un muro o una ventana, ya que operando a estas frecuencias se van a tener que colocar varias de estas radiobases pero también se va a tener una gran capacidad.

#### **8. ¿Para 5G es posible la utilización de las bandas AWS?**

Dentro del 3GPP existen estándares técnicos uno de estos es el estándar TS 38.104, hay bastante documentación para 5G, sin embargo estas frecuencias no son para cualquier país, estos rangos pueden ser utilizados dependiendo en que país estemos obviamente hay bandas que si se pueden utilizar a nivel mundial pero en nuestro caso no. Por ejemplo aquí se pueden encontrar las bandas con las que actualmente están operando los operadores móviles en Bolivia, por ejemplo 1.700 y 2.100 MHz. Estas son frecuencias con las que actualmente están operando ENTEL, TELECEL y VIVA y también pueden ser utilizadas para 5G, entonces se pueden ver las bandas que son útiles para 5G pero también se debe hacer un cruce con lo que establece la UIT, por ejemplo ENTEL tiene frecuencias en 1.900 MHz, estas frecuencias están destinadas para telefonía móvil, solo para telefonía móvil.

Por lo tanto, la ATT no establece la tecnología ya que las frecuencias no son otorgadas para una tecnología en específico, sino para un servicio de manera genérica. Una de las características de la ley es que es tecnológicamente neutral, estas bandas se las otorga pero para un servicio como telefonía móvil, por ejemplo, y estas frecuencias se las puede utilizar con la tecnología que la soporte, 4G, 5G, etc. Para nuevas bandas de frecuencia, por ejemplo ENTEL o Nuevatel que tienen bandas 1.900 o las bandas AWS 1.700 y 2.100 MHz. Si la tecnología lo permite si se puede implementar la tecnología 5G, ahora en bandas como la de 3.5 GHz actualmente en el Plan Nacional de Frecuencias no está destinada para telefonía móvil, habría que cambiar eso, se tendrían que habilitar estas bandas para que funcione el 5G ahí.

Más bien para que funcione el servicio de telefonía móvil en esas bandas esa es una primera tarea, en estas bandas por ejemplo se podría utilizar la banda de 3.3 a 3.8 GHz, pero no toda esta banda sería útil en Bolivia para 5G, por ejemplo ninguna de estas bandas está destinada para telefonía móvil en este momento para que pueda ser utilizada para 5G. Lo importante es que la UIT lo reconozca como banda IMT, actualmente todas estas bandas son identificadas como IMT pero a nivel mundial tú tendrías que revisar estas notas y tú te vas a

dar cuenta de que para la UIT estamos divididos en tres regiones: la Región 1, Europa, la Región 2, América y la Región 3 donde esta Asia y Australia y otras regiones. Nosotros pertenecemos a la región 2, entonces si hay algunas frecuencias que si aplican para su uso en la Región 2, por decirte, la banda de 3.4 a 3.6 GHz, la nota internacional 5.431B si te habilita como Región 2 para países de la Región 2 y utilizar estas bandas para IMT es como un cruce de información que se debe hacer.

La tecnología de la 3GPP te permite usar la banda de 3.3 a 3.8 GHz. En Bolivia no se puede utilizar de 3.6 a 3.8 GHz, podrías utilizar tal vez de 3.3 a 3.6 GHz, ya que de 3.6 a 3.7 GHz es una banda para Bolivia, pero no es una banda IMT para Región 2, si bien la tecnología te permite aplicar la recomendación de la UIT no te habilita como banda IMT, entonces se debe ver que una frecuencia este asignada para la Región 2. Obviamente van haber muchas frecuencias, pero no todas van a estar como IMT para la Región 2 y las que se tienen identificadas como IMT para Región 2 y que estén dentro de estos rangos si son bandas que se pueden utilizar para 5G y son proponibles, por ejemplo en el caso de 3.3 a 3.6 GHz tu vas a encontrar, si revisas estas notas internacionales, que se pueden localizar en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, esta tablita fue extraída de este documento.

Esto se actualiza cada 4 a 5 años depende de las reuniones mundiales que hay por ejemplo va haber una reunión mundial este año de la UIT y producto de la reunión que va haber este año al año siguiente va a salir una nueva versión de este reglamento con algunas modificaciones. En este reglamento de radiocomunicaciones vas a poder encontrar todos estos rangos de frecuencias para diferentes servicios y tecnologías, las notas internacionales están al pie de página y ahí esta su descripción, por ejemplo, esta banda esta asignada para IMT en la Región 2. Con esto se puede corroborar que banda de frecuencia será útil para 5G.

Las bandas IMT se establecen a nivel mundial y estos son los casos particulares para su uso en la Región 2, ahí vas a poder identificar realmente cuales son las bandas que están habilitadas para 5G. De la misma forma existen 11 bandas bajo estudio, se han identificado cuatro pero cuando haya la reunión este año se van a discutir el uso de estas bandas. A lo mejor la próxima versión que salga el 2020 ya va a contar con mas bandas para arriba de 26 GHz, también se van a proponer nuevas bandas. Actualmente como país no esta bien definido este aspecto, entonces las bandas que están siendo utilizadas, como 1.900 MHz, AWS 1.700 y 2.100 MHz, esas si se pueden utilizar para 5G, pero la complicación es que actualmente recién está en desarrollo el equipamiento para esas bandas.

Recién este año o tal vez al próximo exista equipamiento dispositivos celulares. Lo que actualmente de manera comercial se esta utilizando es la banda de 3.5 GHz. Si tu revisas un poco recién este mes se ha implementado 5G en la banda de 3.5 GHz en países de Europa como Italia, España, Alemania e Inglaterra. Ya van a comenzar a utilizar comercialmente estas

bandas, ya existe el soporte para esa banda en particular, luego recién se va a desarrollar equipamiento para otras bandas mas bajas de frecuencia. Digamos si la tecnología te permite que haya equipamiento, si esta habilitada, por ejemplo esta banda que tiene Nuevatel, nada impediría sacar 5G en esta banda. Para la habilitación de una banda IMT, tanto el Ministerio de Obras Públicas Servicios y Vivienda y el Viceministerio de telecomunicaciones tienen que hacer el análisis, primero, como bandas IMT y recién se las puede habilitar y modificar el Plan Nacional de Frecuencias de Bolivia. Actualmente todo esta en análisis.

**9. ¿Existe algún modelo de propagación específico para 5G como COST 231?**

**R.-** No, esto depende más de la frecuencia donde se utilizará 5G que de la tecnología propiamente dicha, por lo tanto se puede usar el modelo que más sea apropiado para la frecuencia que se use para 5G.

**10. Específicamente ¿Que modelo de propagación se usaría para la banda de 26 GHz?**

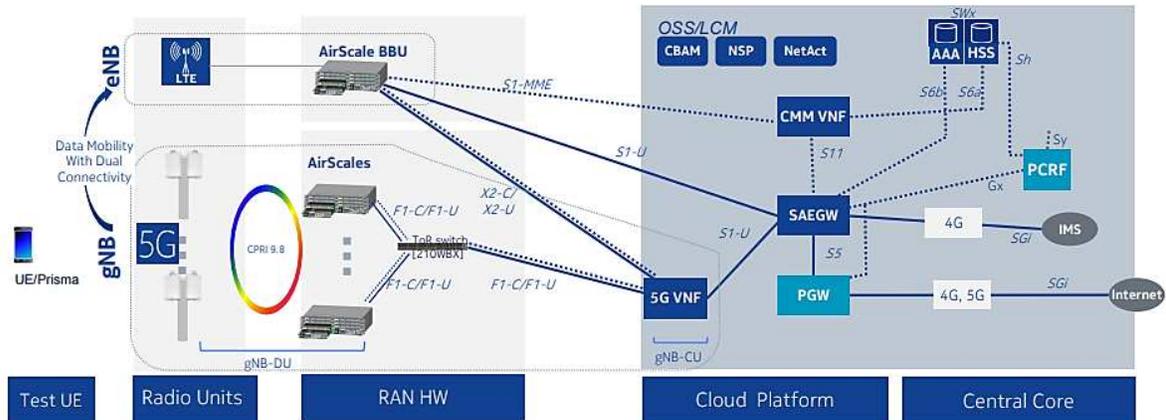
**R.-** Desconozco, pero si podrías encontrar un modelo que se adecue a la banda en cuestión, pero es de cobertura limitada para entornos cerrados básicamente. Puedes encontrar mas información en la Recomendación de la UIT 2038, donde esta el lineamiento de tecnologías para se candidatas a 5G IMT y el estándar de la 3GPP.

Gracias.

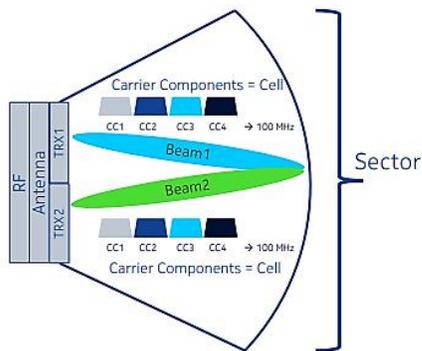
## ANEXO IV

### SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para el presente proyecto se seleccionó la solución 5G Non Stand Alone (NSA) de NOKIA por su concordancia con la banda de frecuencia de 2.5 GHz:



Para la parte de transmisión se tiene una estación base con 64 TRX RF y cuatro componentes de portadora (100 MHz BW) → 3 Sectores por Celda:



Product name	AirScale MAA 64T64R 128AE B41 120W
Model number	474155A
Rated max Tx power	120 W
Number of TRRX	64TX64RX
Beamforming	Yes
SW supported techno.	TD-LTE
Frequency range	2496 - 2690 MHz (3GPP Band 41)
Nb of antenna elements	8 (horizontal) x 8 (vertical)
Distance between AE	57.5 mm (horizontal) x 80 mm (vertical)
Gain	24 dBi
EIRP	74.8 dBm

La Paz, 09 de mayo de 2019

**ANEXO V**



Señores:

Gerencia de Planificación

**NUEVATEL VIVA PCS S.A.**

Presente.-

**Ref.: SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA PROYECTO DE GRADO.**

De mi consideración:

Mediante la presente solicito a Uds. muy cordialmente me informen sobre la viabilidad de mi proyecto de grado, el cual lleva por título: **ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G QUE MEJORE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE DATOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ ESTUDIO DE CASO: EMPRESA VIVA NUEVATEL PCS.** La información requerida servirá estrictamente para fines académicos. Mi nombre es Ivan Marcelo Condori Uruchi, actualmente curso la materia de taller de licenciatura en la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Con lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente proyecto de grado es el diseño de una estrategia para la implementación de la tecnología 5G, que mejore la prestación del servicio de datos en la ciudad de La Paz, para la empresa VIVA Nuevatel PCS, para lo cual se requiere realizar un diagnóstico de la situación actual de la red 4G LTE en la ciudad de La Paz y conocer la factibilidad técnica de una posible implementación de la red 5G.

Es espera de su deferencia hacia mi solicitud me despido de Uds. muy cordialmente.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ivan Marcelo Condori Uruchi'.

Univ. Ivan Marcelo Condori Uruchi

CI.8304525L.P.

Señores:

**Autoridad de Regulación y Fiscalización  
de Telecomunicaciones y Transportes (ATT)**

Presente.-

H.R. LP # 9879

ATT REC 40JUL19 16:25

**Ref.: SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA PROYECTO DE GRADO**

De mi consideración:

Mediante la presente solicito a Uds. muy cordialmente me informen sobre la viabilidad de mi proyecto de grado, el cual lleva por título: **ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G QUE MEJORE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE DATOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ ESTUDIO DE CASO: EMPRESA VIVA NUEVATEL PCS**. La información requerida servirá estrictamente para fines académicos. Mi nombre es Ivan Marcelo Condori Uruchi, actualmente curso la materia de taller de Proyecto de Grado en la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Con lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente proyecto de grado es el diseño de una estrategia para la implementación de la tecnología 5G, que mejore la prestación del servicio de datos en la ciudad de La Paz, para la empresa VIVA Nuevatel PCS, para lo cual se requiere conocer sobre la viabilidad de asignación de una banda de frecuencia específica dentro del Espectro Electromagnético para la prestación de servicios de 5G, pudiendo ser como alternativas 700 MHz, 2.100 MHz o 26 GHz., debido a que la red 5G esta pensada para ser implementada con la infraestructura de la red 4G LTE existente de la empresa.

Es espera de su deferencia hacia mi solicitud me despido de Uds. muy cordialmente.

Atentamente,



Univ. Ivan Marcelo Condori Uruchi

8304525L.P.



AUTORIDAD DE REGULACIÓN Y FISCALIZACIÓN DE TELECOMUNICACIONES Y TRANSPORTES

## ANEXO VII

La Paz, 11 de Julio de 2019  
**ATT-DTLTIC-N LP 2399/2019**

Señor  
Ivan Marcelo Condori Uruchi  
**Solicitante**  
Teléfono: 77516666  
Presente. -

### **Ref.: Respuesta a su solicitud de información**

De mi consideración:

Cursa en esta Autoridad la nota recibida en fecha 4 de julio de 2019, mediante la cual señala que actualmente se encuentra elaborando un proyecto de grado denominado "*Estrategia para la implementación de la tecnología 5G que mejore la prestación del servicio de datos en la ciudad de La Paz estudio de caso: Empresa Viva Nuevatel PCS*", motivo por el cual solicita conocer la viabilidad de asignar una banda de frecuencias del espectro radioeléctrico para la prestación de servicios con tecnología 5G.

Al respecto, se comunica que de acuerdo al artículo 32 de la Ley N° 164 de 8 de agosto de 2011, General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación, la ATT tiene la atribución de otorgar licencias para las actividades de telecomunicaciones que hagan uso de frecuencias, siempre que cumplan con los requisitos establecidos y cuando así lo determinen los planes aprobados por el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

Con respecto al espectro radioeléctrico para implementar tecnología 5G; entre otros aspectos, se debe considerar que las bandas de frecuencias deben estar identificadas como bandas IMT en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para la Región 2. En ese marco, se señala que esta Autoridad actualmente se encuentra analizando la disponibilidad de frecuencias para futuras implementaciones con tecnología 5G por parte de los operadores que prestan servicios de telecomunicaciones al público.

Sin otro particular, saludo a usted muy atentamente.

*Jaco Barrios*  
Ing. Ibzzan Barrios Villaruel  
DIRECTOR TÉCNICO SECTORIAL  
DE TELECOMUNICACIONES Y TIC'S  
AUTORIDAD DE REGULACIÓN Y FISCALIZACIÓN  
DE TELECOMUNICACIONES Y TRANSPORTES

HR: E-LP-9879/2019  
C.c: Arch. Correlativo  
IJBV/AER/ALC



E-LP-9879