



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“5G EN EL ECUADOR: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA  
INFRAESTRUCTURA PARA DAR SOPORTE AL  
ECOSISTEMA DE 5G EN EL ECUADOR”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

JORGE ENRIQUE GARCÍA CEVALLOS

RICARDO ANDRÉS TIGRERO GONZÁLEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a mi familia que siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas, con su apoyo y consejos que me han llevado por el camino correcto, me han enseñado a esforzarme cada día más y aceptar que las cosas pasan por algo. A mi madre Mariella Cevallos que junto a su esfuerzo, sacrificio y dedicación me ayudo en todo momento a culminar esta etapa de mi vida y sé que contare con ella para las nuevas metas que se vienen. También agradezco a todos mis amigos y profesores que me brindaron su apoyo y su amistad en todo momento esperando que en un futuro nos volvamos a encontrar de nuevo.

Jorge Enrique García Cevallos

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado durante mi carrera, cada uno contribuyó con un granito de arena al darme sus consejos y ayuda incondicional. Un agradecimiento especial a mis padres Carmen González y Clemente Tigrero ya que son los principales participes de esta meta cumplida. También agradezco a mis amigos y profesores que formaron parte de mi desarrollo personal y profesional.

Ricardo Andrés Tigrero González

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi familia, principalmente a mis abuelos Margot Adriana Ortega Jaime y Julio Aníbal Cevallos Vega, a mis padres Mariella Adriana Cevallos Ortega y Jorge Enrique García Robalino, a mi hermana Adriana Alejandra García Cevallos y a mi hermosa sobrina Alejandra Cattleya Rivera García, quienes son la fuente de inspiración para seguir superándome cada día. También todos mis amigos y profesores que permanecieron hasta este momento apoyándome.

Jorge Enrique García Cevallos

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia, especialmente a mis padres Clemente Tigreiro y Carmen González, a mis tíos Gerónimo González y Anita De La Cruz, a mis hermanos Miguel Tigreiro y Katherine Tigreiro, quienes son y serán mi principal motivación para superarme día a día.

Ricardo Andrés Tigreiro González

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....  
**PhD. María Antonieta Álvarez**

PROFESOR EVALUADOR

.....  
**Ing. Miguel Giovanni Molina**

PROFESOR EVALUADOR

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....  
Jorge Enrique García Cevallos

.....  
Ricardo Andrés Tigreiro González

## **RESUMEN**

Para 2020 se pronostica un gran despliegue de dispositivos inteligentes, aumentando la comunicación tipo máquina las cuales van a necesitar mejores características inalámbricas que soporten una gran tasa de datos, estos eventos imponen condiciones que no son satisfechas por las tecnologías actuales. Por lo tanto, es necesario evaluar en Ecuador las bases que darán soporte a la nueva generación 5G.

Este proyecto analiza las características y requerimientos más relevantes de esta nueva tecnología, tomando en cuenta las principales condiciones técnicas del primer estándar 5G publicado por parte de 3GPP en diciembre del 2017, de esta manera se plantea un ecosistema 5G formado por el espectro, comunicación tipo máquina (M2M), mimo masivo y pequeñas celdas, manejadas con un espectro eficiente para el mismo.

Como resultados principales de este proyecto se obtienen un diseño del ecosistema 5G para dar soporte a esta nueva tecnología en Ecuador y un despliegue rápido 5G debido al primer estándar de 3GPP. Otros resultados son la asignación de un espectro que cumple a cabalidad las condiciones de esta nueva generación y un sistema M2M eficiente para la comunicación tipo máquina, con esto se logra una proyección del camino que debe seguir Ecuador.

## ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| AGRADECIMIENTO.....  | ii  |
| DEDICATORIA.....   | iii |
| TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....  | iv  |
| DECLARACIÓN EXPRESA.....   | v   |
| RESUMEN .....  | vi  |
| ÍNDICE GENERAL .....   | vii |
| CAPÍTULO 1 .....   | 1   |
| 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 1   |
| 1.1 Ciudades Inteligentes.....   | 2   |
| 1.2 Desafíos de la Comunicación.....                                       | 2   |
| 1.3 Objetivos .....  | 3   |
| 1.3.1 Objetivo General.....  | 3   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....  | 3   |
| 1.4 Metodología .....  | 3   |
| 1.5 Justificación.....   | 4   |
| CAPÍTULO 2 .....   | 5   |
| 2 MARCO TEÓRICO 5G .....   | 5   |
| 2.1 ¿Por qué 5G?.....  | 5   |
| 2.2 Espectro .....   | 6   |
| 2.3 Latencia.....  | 7   |
| 2.4 Topología Actual 3G Y 4G .....   | 8   |
| 2.5 Técnicas Usadas por LTE .....  | 9   |
| 2.6 Aplicaciones .....   | 9   |
| 2.6.1 Comunicación Dispositivo a Dispositivo D2D .....                     | 9   |
| 2.6.2 Machine-to-Machine M2M .....   | 11  |
| 2.6.3 Internet De Las Cosas (IoT).....                                     | 12  |
| 2.7 Técnicas Avanzadas para mejorar Cobertura y Eficiencia espectral ..... | 13  |
| 2.7.1 Beamforming .....  | 13  |
| 2.7.2 Massive MIMO: Mucho más que muchas antenas .....                     | 14  |
| 2.7.3 Nuevas Formas de Ondas.....  | 16  |
| 2.8 Diseños del Ecosistema 5G .....  | 17  |
| 2.8.1 Software Designe Network (SDN) .....                                 | 17  |
| 2.8.2 CLOUDRAN.....  | 18  |
| 2.8.3 HETNETS.....   | 19  |

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO 3 .....  | 21 |
| 3 BASES DEL ECOSISTEMA 5G ECUADOR.....  | 21 |
| 3.1 Espectro .....  | 21 |
| 3.1.1 Situación Actual de la Telefonía Móvil en Ecuador.....  | 21 |
| 3.1.2 Asignación de Espectros para 5G .....   | 22 |
| 3.1.3 Estatus Regulatorio Nacional .....  | 23 |
| 3.1.4 Espectros para 5G.....  | 26 |
| 3.2 Comunicación Tipo Máquina (MTC).....  | 29 |
| 3.2.1 Numeración en Ecuador para M2M.....   | 30 |
| 3.2.2 Red Heterogénea en Sistemas M2M.....  | 31 |
| 3.2.3 Diferencias con la Red Celular 5G.....  | 32 |
| 3.2.4 HETNETS/SMALLCELL .....   | 33 |
| 3.2.5 Reutilización de Frecuencia.....  | 35 |
| 3.3 Arquitectura del sistema 5G.....  | 37 |
| 3.3.1 Interacción entre las funciones de red del sistema 5G .....   | 37 |
| 3.3.2 Arquitectura 5G con EPC .....   | 38 |
| 3.3.3 Massive MIMO y SMALL CELLS en el ecosistema 5G .....  | 40 |
| 3.3.4 Selección de usuario .....  | 41 |
| CAPITULO 4 .....  | 43 |
| 4 RESULTADOS ESPERADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO,<br>ESPECTRO Y EL SISTEMA M2M, SOPORTES EN LA ARQUITECTURA 5<br>ECUADOR ..... | 43 |
| 4.1 ARQUITECTURA 5G CON EUTRAN.....   | 43 |
| 4.2 Mejorar capacidad y cobertura con Massive MIMO Y Small Cells .....  | 44 |
| 4.3 Sistema M2M .....   | 46 |
| 4.4 Modificación del prefijo cíclico en OFDM (CP-OFDM) .....  | 47 |
| 4.5 Ecosistema 5G en Ecuador.....   | 49 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 51 |
| REFERENCIAS.....  | 52 |



## CAPÍTULO 1

### 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto de la tecnología es la transformación que produce en el entorno humano, tanto para lo político, educacional, social, entre otras, produciendo un crecimiento de las mismas a nivel mundial. Las telecomunicaciones son unos de los crecimientos tecnológicos que ha tomado fuerza en los últimos años en donde todo está conectado con todo por medio de conexiones inalámbricas, en un artículo del El Comercio “Acceso a la red 4G o LTE en Ecuador se duplicó del 2016 al 2017” el cual relata que en Ecuador en 2017 se registró 2.7 millones de conexiones 4G en dispositivos móviles, como teléfonos celulares, tabletas, módems y otros equipos que se conectan en internet, pero también nos permite comparar que solo hace un año atrás teníamos 1.2 millones de dispositivos según ARCOTEL. A su vez GSMA proyecta para el 2020 más de 6 millones de ecuatorianos que ya contarán con 4G. [1]

El crecimiento tecnológico da paso a las ciudades inteligentes, para poder implementarse se necesita conocer muy bien los requisitos y necesidades específicas. Ecuador debe tener en cuenta la gran capacidad que se va a requerir a largo o mediano plazo como lo plantea El Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnología de la Información del Ecuador 2016-2021, el cual tiene como macro-objetivo completar y fomentar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, donde se define aumentar cobertura, fomentar despliegue de infraestructura móvil, entre otros. [2]

También como segundo macro-objetivo es aumentar la penetración de servicios tic en la población en las cuales los objetivos específicos de la misma es el aumento de banda ancha móvil, telefonía móvil en el hogar, computadores en los hogares y Smartphone en la población, esto requiere que las tecnologías de comunicación puedan soportar este gran desafío en el aumento de dispositivos o usuarios conectados sin perder la calidad de servicio (QoS) que a su vez requerirán mayor ancho de banda para el envío de mayor cantidad de datos.

Estas tecnologías tienen sensores, detección, transmisión y control, necesitando un mecanismo que soporte estas funcionalidades que son básicas, donde toda la información se transfiere a un centro de control que realiza la elaboración de estos datos. Estos sensores se estarán manejando de manera independiente a sus ubicaciones de una manera autónoma y escalable que cumpla con el paradigma del internet de las cosas (IoT).

Aquí es donde entra la tecnología 5G, ya que puede ser de gran ayuda al resolver estos problemas y eliminar o minimizar estos obstáculos que Ecuador tienen para poder avanzar en TIC, por tal motivo se necesita tener un estudio adecuado acerca de esta tecnología 5G, lo que ofrece y las infraestructuras estudiadas con sus debidos estándares.

### 1.1 Ciudades Inteligentes

Según el Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnología de la Información del Ecuador 2016-2021, plantea entre otros de sus macro-objetivos asegurar el uso de las TIC para el desarrollo económico y social del país [2], que entre los principales puntos a tratar plantea la potenciación de procesos digitalizados del sector público de alto impacto social (educación, salud, justicia y seguridad), con el único fin de alcanzar un mayor grado de eficiencia, ampliar cobertura, mejorar sus sistemas de comunicación, entre otras. Definiendo así el cumplimiento de los requisitos para ser escuelas digitales, hospitales digitales, entre otras.

Basado en lo que plantea “Cognitive Spectrum Sharing: An Enabling Wireless Communication Technology for a Wide Use of Smart Systems” [3] para mejorar y enriquecer la calidad de vida de los millones de ecuatorianos este dependerá de la capacidad de las ciudades al momento de ahorrar energía, mejorar las condiciones de vida y aumentar la seguridad de los ciudadanos. Por lo tanto, Ecuador tendrá que estar basada en la integración de software, mejoradas infraestructuras de red, dispositivos heterogéneos, arquitectura confiable, robusta, segura y escalable, teniendo un funcionamiento exitoso en el ecosistema MTC (Machine Type Communication) y en los celulares móviles.

### 1.2 Desafíos de la Comunicación

Los principales desafíos que tiene que enfrentar Ecuador para tener una buena infraestructura [3] son:

- **Heterogeneidad:** Comunicaciones heterogéneas deben integrarse para obtener accesos confiables y funcionales dependiendo del entorno que se encuentre.
- **Calidad de Servicio (QoS):** Se necesita conducir múltiples tipos de tráfico en la red, respetando los diferentes requisitos de QoS en términos de prioridad, demora, velocidad de datos, confiabilidad y seguridad. Sin mencionar que los datos varían dependiendo de la hora o el día, el cual necesita que el sistema se adapte a ese escenario para ofrecer lo mejor.

- **Seguridad:** Las redes tiene que llevar información muy confiable y tiene que ser enviado en tiempo real al centro de monitoreo, control, accesos autorizados o no autorizados, modificación de datos, lo que hace que sea necesario proveer mecanismos para prevenir ataques cibernéticos.
- **Energía:** Entre mayores dispositivos se generan las operaciones de cada dispositivo se ven afectadas por la duración de la batería, por este motivo, Ecuador tiene que implementar protocolos de comunicación energéticamente eficientes dando a considerar soluciones de recolección de energía.
- **Disponibilidad de Comunicación:** El tráfico que se generar por las aplicaciones de los dispositivos requiere un gran ancho de banda y recursos de red, por lo cual, en comunicaciones inalámbricas además de una disponer de un espectro dedicado para servicios, contar con tecnologías y técnicas para explotar los recursos de espectro son necesarios.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

- Analizar conceptos necesarios para la implementación de 5G en Ecuador con sus futuras aplicaciones, para promover el crecimiento del TIC con las bases necesarias, evitando el atraso tecnológico en el Ecuador.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar de aplicaciones 5G necesarias basadas en la investigación, ya sea en Ecuador con las telefónicas como las investigaciones realizadas en Latinoamérica.
- Plantear diversas infraestructuras que nos ofrece 5G las cuales pueden ser M2M, Small Cell, entre otros basándose en los requerimientos de Ecuador.
- Considerar los requerimientos o parámetros necesarios para tener 5G en Ecuador basándose en las condiciones actuales del País, como Espectro, latencia, velocidad, entre otros.

### 1.4 Metodología

Para realizar nuestro objetivo general se planteará 4 tópicos importantes las cuales son:

- Investigar lo que nos ofrece 5G a nivel mundial para Latinoamérica

- Analizar las infraestructuras necesarias para la implementación rápida y segura de 5G en Ecuador
- Obtener un resultado óptimo para Ecuador siguiendo o proponiendo nuevos parámetros.

Hasta el día de hoy existe mucha información acerca de 5G, estas fueron planteadas, diseñadas y sugeridas para el implemento de la misma, en este documento analizaremos estas investigaciones llevándolas a Ecuador, es decir, con todo el contenido que abarca 5G la aterrizaremos al Ecuador siguiendo o sugiriendo estándares necesarios para la implementación de la misma. Vamos a llevar el análisis de diferentes diseños propuesto para el área de Ecuador, detallando las mejores soluciones para cada acción que se tome, dando así seguridad y rapidez en el proceso de colocación de 5G para cubrir la futura demanda.

### **1.5 Justificación**

La tecnología avanza rápido y la demanda de velocidad para enviar información es mucho mayor, Ecuador es uno de los países que debe estar preparado para 5G y así evitar ese desfase o retraso que comúnmente experimenta, teniendo en cuenta la base para el diseño o implementación de 5G. Hay que observar toda la gama que nos ofrece 5G y como esta puede solucionar diversos problemas futuros que serán muy útiles si se necesita ser competitivos. 5G se presentará para todos en el 2020 pero en lugares como china ya se presentarán en el 2018, Ecuador tiene que lograr adaptarse rápidamente a este nuevo salto o evolución en las telecomunicaciones, teniendo un buen conocimiento de la misma podremos estar a la vanguardia de la llegada de 5G.

## CAPÍTULO 2

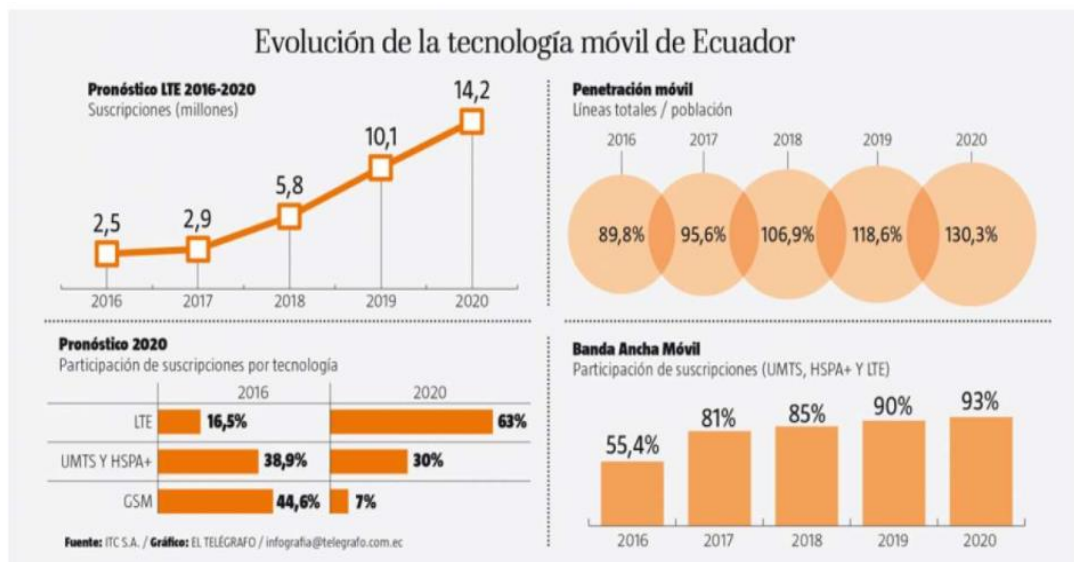
### 2 MARCO TEÓRICO 5G

5G tiene la capacidad de manejar altas tasas de tráfico inalámbrico con nuevas arquitecturas propuestas para dicha demanda, para ello empresas como 3GPP, GSMA, Samsung Mobile Solutions Lab, China Mobile, etc. proponen y enfatizan modelos desarrollados por ellos para suplir esta necesidad [4]. Todos estos modelos deberán ser aterrizados en Ecuador y así proponer diseños que cubran las futuras demandas.

Este capítulo introduce conceptos claves para la implementación adecuada de 5G, tales como: Espectro, Técnicas, Arquitectura, Aplicaciones y Tecnologías de Acceso, donde analizamos el funcionamiento y los requerimientos de estas.

#### 2.1 ¿Por qué 5G?

En Ecuador se busca un modelo ideal que vaya de acuerdo a su infraestructura actual, que se acople a la topología sin sufrir cambios abruptos. Una publicación del periódico El Telégrafo publicada el 12 de junio del 2017 [5] nos muestra el siguiente pronóstico de la evolución en Ecuador en la tecnología móvil.



**Figura 2.1: Evolución de la Tecnología móvil de Ecuador [5]**

Se puede observar en la figura 2.1 el crecimiento que se pronostica en cuanto a uso de LTE, contrario a esto está GSM, UMTS y HSPA+, pero ¿Hasta qué punto es bueno la utilización de estas tecnologías de comunicación?, con una creciente demanda de la comunicación entre diferentes máquinas ¿Existirá capacidad necesaria que soporte varios dispositivos inalámbricos?, ¿Se toma en cuenta los

futuros crecimientos de aplicaciones como, TV digital, Internet, Video Llamadas, Juegos Online u otros dispositivos donde se requiera mayor Ancho de Banda, 5G responde a estos requerimientos, dando al usuario una mayor satisfacción y comodidad cuando se requiera de mayor velocidad, teniendo retardos más pequeños que 4G LTE, obteniendo así una mejor comunicación. 5G ofrece servicios mejorados y potentes al usuario de forma rápida y segura, es decir, permitirá múltiples conexiones, pero, para implementar esta tecnología se debe tener una infraestructura adecuada.

## 2.2 Espectro

Se están manejando diferentes rangos competentes para 5G las cuales abarcan lo siguiente:

- Rango bajo, que son menores a 3 GHz.
- Rango medio, que se encuentran entre 3-6GHz.
- Rango Alto, que se encuentran mayores de 6GHz.

Estos rangos se los utilizan para diferentes escenarios, los rangos bajos cubren áreas extensas debido a sus características de propagación y son claves para extender la cobertura más allá de los centros urbanos y dentro de los edificios [6], el rango medio es más utilizado para un área urbana. Por último, tenemos los de rango alto que a pesar de tener una cobertura limitada (debido a efectos propios de las altas frecuencias) este provee mayor capacidad al poder asignar canales de más ancho de banda comparado con las tecnologías actuales y así lograr tasa de datos en el orden de los Gbps. Sin embargo, las bandas altas son un gran desafío ya que a una frecuencia de 28 GHz hasta la hoja de un árbol puede hacer interferencia [7]. El resumen de las bandas de frecuencias utilizadas por parte de las operadoras de telefonía móvil en Ecuador para proveer la tecnología 4G LTE está detallada en la tabla 1. En el capítulo 3 se detallan todas las bandas utilizadas para las diferentes tecnologías de telefonía móvil en Ecuador para así proponer un espectro para 5G que no interfiera con las tecnologías predecesoras.

| <b>Operadoras</b> | <b>Frecuencias (4G LTE)</b>                  |
|-------------------|--|
| Movistar          | 1900 MHz (Banda 2)                           |
| Claro             | 1700/2100 MHz (Banda 4)                      |
| CNT               | 1700/2100 MHz (Banda 4) o 700 MHz (Banda 28) |
| Tuenti            | 1900 MHz (Banda 2)                           |

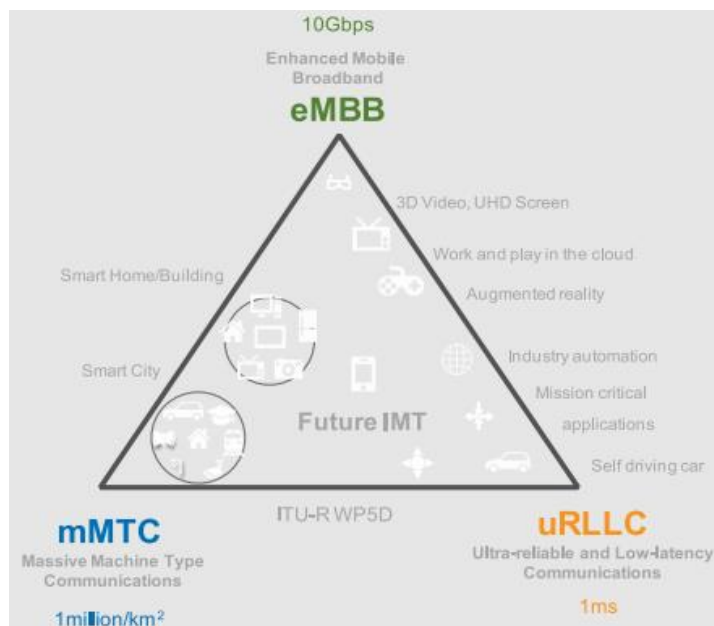
**Tabla 1: Frecuencias utilizadas en Ecuador 4G LTE.**

Las operadoras en Ecuador ya cuentan con concesiones hasta el 2023 en ciertas bandas que en otros países se están subastando, y otras bandas que no son destinadas para SMA en nuestro país.

### 2.3 Latencia

La latencia es la diferencia entre el momento que ocurre dicha información y el momento en el que se procesa esta misma, en 5G disminuir la latencia es un factor clave. LTE a pesar de buscar vías a través de investigación y desarrollo para mejorar en cuanto a cobertura, tasa de datos y conectividad con técnicas como, MIMO, small cells, Coordinated Multi-Point (CoMP) transmisión, HetNets y múltiples antenas; es poco probable que satisfaga la exigente demanda a largo plazo que se prevé [8].

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) calificó las redes de 5G en 3 categorías fundamentales: eMBB, uRLLC y mMTC como se muestra la figura 2.2.



**Figura 2.2: Cuadro del futuro del IMT [8].**

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB) que se basa en el incremento de la brecha digital como su ancho de banda y gran velocidad.
- Ultra-reliable and Low-latency Communications (uRLLC) que se enfoca en la sensibilidad de la latencia en ofrecer los servicios que sean autónomos o de control remoto.

▪ Massive Machine Type Communications (mMTC) el desarrollo al futuro de la sociedad enfocado al servicio y sus altos requerimientos.

El objetivo principal de eMBB es proporcionar capacidad y velocidad al usuario, con el fin de lograr este aumento mucho mayor a 4G tanto por capacidad y por velocidad, se están proponiendo técnicas más agresivas, explotando el espectro o mejorando la capacidad espectral y entre otros de los enfoques notables incluyen Massive MIMO [9] (mMIMO) y una nueva forma de onda CP-OFDM [10]

El punto mMTC, se encarga de los servicios para la admisión de una gran cantidad de dispositivos tipos maquinas, unos de estos servicios son, registro, medición, monitoreo entre otros, teniendo gran soporte de para altas conexiones y una eficiencia energética,

La uRLLC requiere que la información que se va a intercambiar entre el emisor y el receptor sea fiable con periodos cortos, eliminando la posibilidad de pedir retransmisión, reduciendo los significativamente los recursos necesarios para la recepción de información. Quien contribuye potencialmente al uRLLC son las mMIMO, las cuales pueden reducir la retransmisión dramáticamente [11]

## 2.4 Topología actual 3G Y 4G

El diseño es uno de los principales desafíos para satisfacer la demanda, si analizamos conjuntamente 3G y 4G cumplen las perspectivas y requerimientos de macro-celdas [8], es decir, que estos sistemas no toman en cuenta el entorno, si es "indoor o outdoor" para brindar un buen servicio, como se muestra en la figura 2.3.

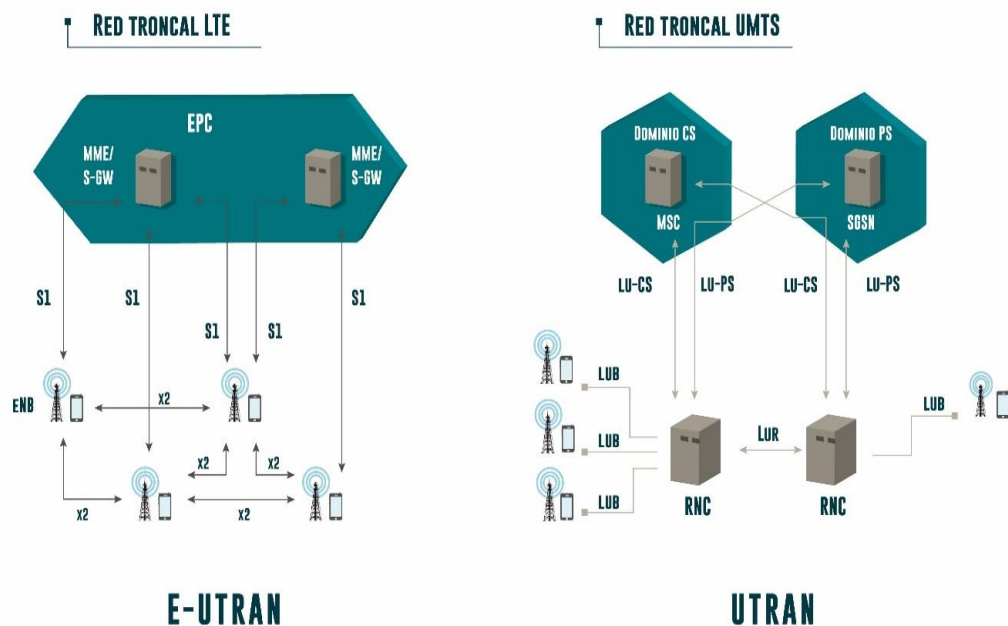


Figura 2.3: Comparación entre 3G y 4G



La red UMTS no tiene interconexiones entre estaciones base (NodeB), esta configuración plana no podría realizar un balance de cargas entre todas las interfaces de conexión "lub" de un equipo controlador (RNC) cuando una de estas este sobrecargada [12]. Por lo cual, en el proceso de "handover", toda la información de señalización y paquetes que ocurren durante el traspaso deben pasar por el RNC y no entre las estaciones involucradas. Esta tecnología produciría una latencia no óptima para aplicaciones de baja latencia debido a que toda la información debe pasar por la RNC.

## **2.5 Técnicas usadas por LTE**

En LTE maneja mucho lo que se conoce como "ortogonalidad y sincronismo". El sincronismo se basa en que todos sus procesos operan con un reloj en común y la ortogonalidad en cambio se refiere a que no existe interferencia en los procesos de detección de forma de onda en los receptores. Esto aumento notablemente la eficiencia en el uso del espectro usando OFDM, sin embargo, no cumple totalmente con los requerimientos para de 5G.

La comunicación entre máquinas (MTC) se realizará a gran escala, pero no necesariamente de forma sincrónica, es decir, estos dispositivos "despertarán" ante un evento y transmitirán su mensaje mediante una sincronización abrupta, por lo tanto, a menudo se necesitará una sincronización "fuerte" para establecer ortogonalidad [12]. En un escenario lleno de células, unas más pequeñas que otras, con coberturas superpuestas, parecería irreal brindar una coordinación efectiva para así mantener la sincronización y ortogonalidad con la tradicional OFDM.

Una posible solución a esto es crear algoritmos más robustos que soporten este conflicto, sin embargo, implicaría un mayor consumo de energía y recursos del espectro. Para contrarrestar este problema sería necesario una nueva forma de onda (non- orthogonal) para abandonar parcial o totalmente la ortogonalidad si se busca trabajar con esta tecnología, ya que actualmente las operadoras móviles utilizan GPRS y UMTS para comunicaciones M2M. [12]

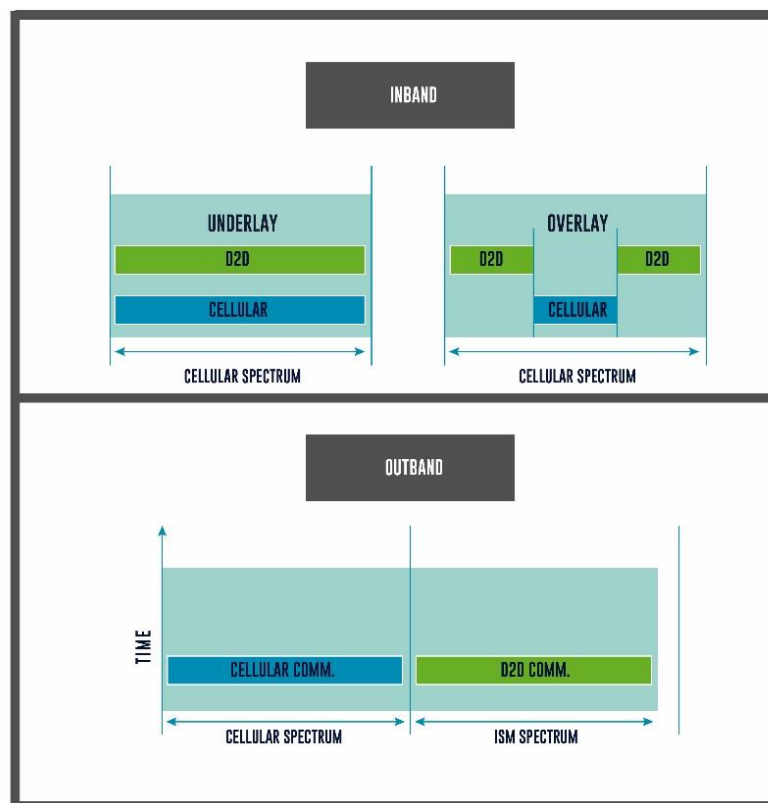
## **2.6 Aplicaciones**

### **2.6.1 Comunicación Dispositivo a Dispositivo D2D**

D2D se define como la comunicación directa entre dos usuarios móviles sin atravesar la estación base (BS) o la red central. La comunicación entre diversos dispositivos inteligentes es un nuevo desafío para las redes celulares inalámbricas, esta aplicación es motivada por la baja latencia y por el poco

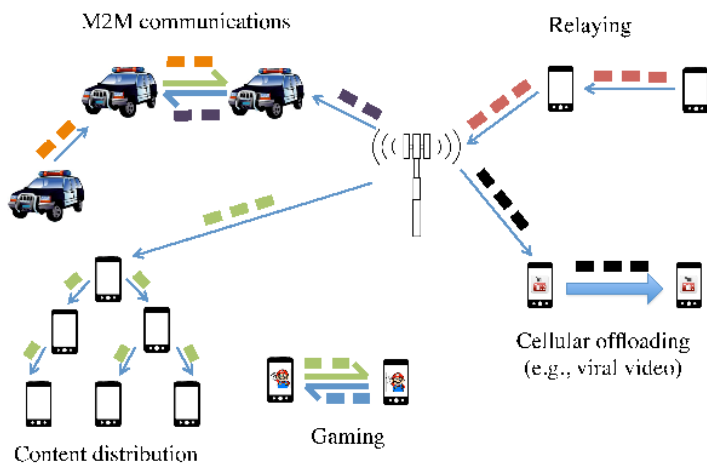
consumo de energía que tendrían. Además, es un paradigma eficiente para descargar tráfico de macro estaciones celulares.

D2D podría funcionar sobre las mismas bandas de UE de macro-celdas o fuera de banda (espectro sin licencia), esto se observa en la figura 2.4. Controlar la interferencia se vuelve de vital importancia en ambos casos, sin olvidar que esto va de la mano con la potencia que transmite el dispositivo. Otro punto importante de esta aplicación es el control, las estaciones bases pueden o no intervenir en la comunicación con el dispositivo más cercano y esto dependerá básicamente si opera dentro del espectro utilizado por la red celular [13].



**Figura 2.4: Inband y Outband en D2D [13]**

Diversos usos se han propuestos desde la aparición del término D2D, los más significantes se muestran en la figura 2.5. La mayoría de estudios e investigaciones se centran en que D2D deba compartir el espectro con la comunicación celular, sin embargo, existen otras opciones que brevemente mencionaremos.



**Figura 2.5: Usos más relevantes para D2D [13]**

UNDERLAY. - Es la compartición total del espectro celular el cual tiene como ventaja un mayor control debido a que es una banda licenciada, sin embargo, tiene como desventaja la interferencia entre usuarios celulares y D2D, para esto existen diversos estudios de algoritmos de administración de interferencias que pueden aumentar la capacidad del sistema [13]

OVERLAY. - Logra descartar el problema de interferencia entre usuarios celulares y D2D debido a que se utilizan recursos dedicados, disminuyendo tales recursos de usuarios celulares. Aquí la asignación de recursos adquiere la mayor importancia para que los recursos celulares dedicados no se desperdicien [13].

OUTBAND. - Aprovecha el espectro sin licencia para los enlaces D2D, esto elimina completamente la interferencia con los usuarios celulares, pero usar espectro sin licencia requiere usar un interfaz adicional como las tecnologías inalámbricas Wifi, BlueTooth [13].

## 2.6.2 Machine-to-Machine M2M

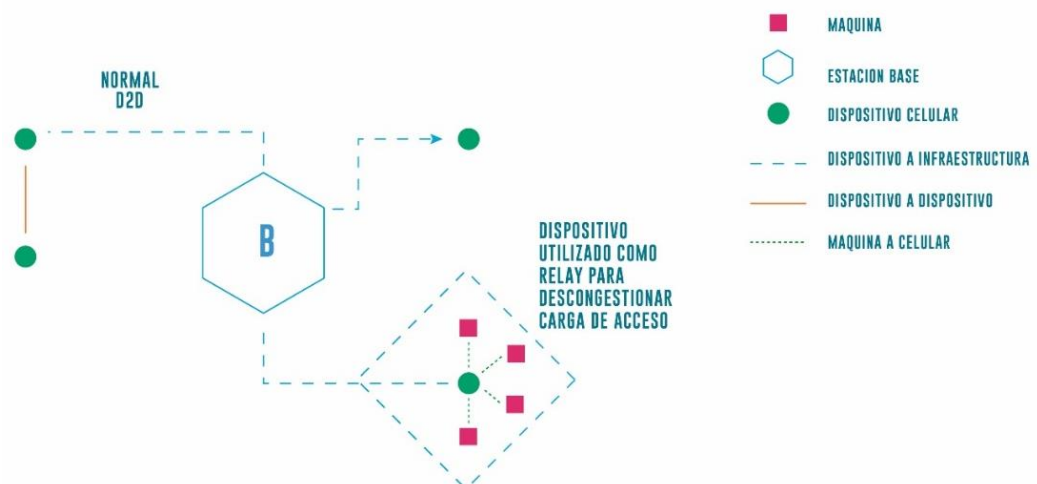
M2M es la comunicación inteligente entre máquinas que no necesariamente necesita la interacción humana. Esta permite aprovechar la información de máquinas u objetos que tienen sobre el entorno y sobre nosotros mismos y así obtener un mundo más eficiente y ecológico.

Algunos estudios proponen que el funcionamiento nativo de esta aplicación se realice en 5G por las características mejoradas de esta tecnología [4]. Actualmente en nuestro País las operadoras móviles (CNT, CLARO, MOVISTAR) ya comenzaron a promocionar y brindar este servicio. De sus portales webs se obtuvo la siguiente información y se muestra en la tabla 2.

| OPERADOR MÓVIL | TECNOLOGÍA |
|----------------|------------|
| CNT            | 2G/3G      |
| CLARO          | UMTS/GPRS  |
| MOVISTAR       | UMTS       |

**Tabla 2: Tecnologías usadas por las Operadoras de Ecuador para M2M.**

Como la tasa de datos en M2M es baja y su uso no es explotado actualmente estas tecnologías abastecen esta demanda. Sin embargo, investigaciones proponen combinar M2M con D2D, ya que MTC se producirá a gran escala y esto genera una sobrecarga en el control, además como MTC transmitirá información de forma eventual y comúnmente tendrá un acceso aleatorio al medio, teniendo las condiciones necesarias para que exista congestión en la interfaz de radio. Los autores de este algoritmo proponen que el tráfico generado en MTC no vaya directamente a la estación base, en vez de esto mencionan un relevo, es decir, un puente para que la información llegue a la estación base a través de un dispositivo inteligente [14]. Este modelo se muestra en la figura 2.6.



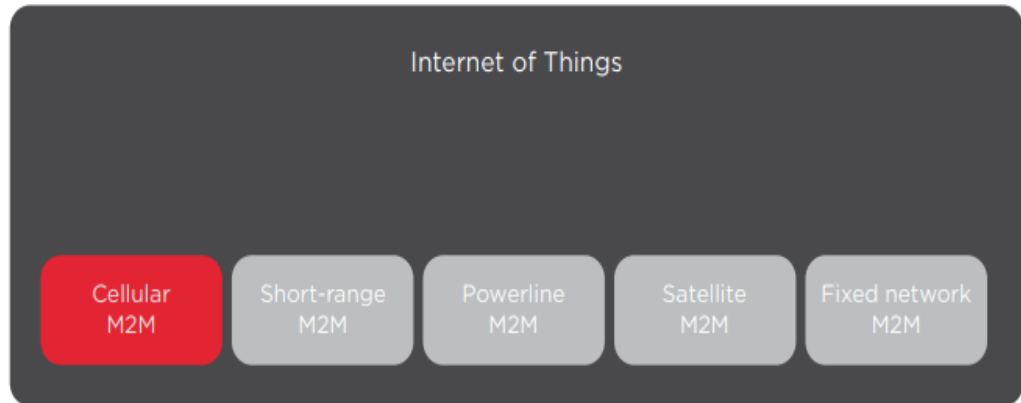
**Figura 2.6: Combinación M2M con D2D [14]**

En un escenario donde por cobertura y tasa de datos, GSM / GPRS, es ideal para aplicaciones M2M y existe poco interés por cambiar esto. Sin embargo, el aumento de la cantidad de estos dispositivos es inminente y esto conlleva a las operadoras a la dependencia de esta tecnología, además que limita obtener el máximo provecho del espectro.

### 2.6.3 Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas describe la conexión y coordinación de diferentes tipos de máquinas, dispositivos, electrodomésticos, etc. Conectadas al internet a través de múltiples redes. Todos estos utilizan una comunicación tipo máquina (MTC). La tecnología M2M es la encargada de conectar a todas estas de forma

inalámbrica utilizando diferentes tipos de canales de comunicación, como por ejemplo SMS u IP [15]. La figura 2.7 muestra que M2M es parte integral en el ambiente IoT.



**Figura 2.7: M2M parte integral de IoT [6]**

## 2.7 Técnicas Avanzadas para mejorar Cobertura y Eficiencia espectral

Las investigaciones de nuevas técnicas tienen como objetivo suplir el gran aumento de dispositivos (10 a 100 veces más), mayor tráfico (1000 veces más), reducir latencia (en un factor de 5) en comparación con LTE [16]. En esta sección estudiaremos las técnicas más relevantes propuestas en diversas investigaciones.

### 2.7.1 Beamforming

Técnica utilizada para dirigir la onda a los dispositivos móviles. Las estaciones bases convencionales transmiten la señal en todas las direcciones, contribuyendo a la distorsión de diferentes dispositivos u alguna otra banda operativa. Beamforming puede detectar y localizar al usuario, transmitiendo solo a esa dirección donde se encuentra el UE [17]. Se tiene 3 infraestructuras para planteadas para Beamforming:

- Digital: Se obtiene una gran ganancia de la antena, produciendo conexiones multi-ruta y multi-usuario, pero su principal desventaja es la creación de varias antenas cada una con su propia alimentación, aumentando el alto consumo de energía y la complejidad del hardware
- Analógica: Se obtiene una mejora en el consumo de energía y menor complejidad en el hardware.
- Híbrido: Es la unión del analógico con el digital, proporciona haces nítidos con desfases en el dominio analógico y flexibilidad de dominio digital, el rendimiento es parecido al digital, pero ahorra potencia y complejidad, siendo

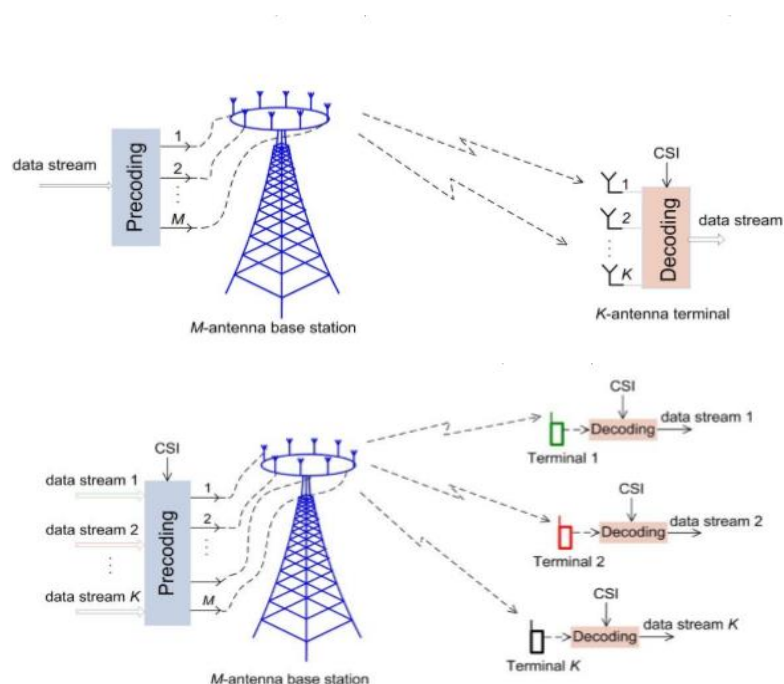
una arquitectura que puede suprimir o reducir naturalmente la interferencia y las reflexiones multi-trayecto.

### 2.7.2 Massive MIMO: Mucho más que muchas antenas

MIMO es una de las más importantes tecnologías para mejorar el rendimiento del sistema en cobertura, capacidad y tasa de datos. Desde sus primeros diseños (Point-to-Point, 1993) ya mostraba una mejora en la eficiencia espectral (2.19 bits/s/Hz para 8 antenas en estación base), una brillante invención, pero tenía puntos negativos como la escalabilidad, propagación desfavorable y era necesario que el receptor tenga la misma cantidad de antenas que el transmisor. Estudios posteriores (MU-MIMO, 2003) lograron reducir a 1 antena por terminal, es decir usuarios autónomos de una sola antena que no disminuyen el rendimiento total, con una propagación casi siempre favorable pero no escalable en su forma original debido a factores [18] como:

- Los extremos del enlace deben conocer el canal.
- Necesidad de utilizar en la codificación y decodificación “dirty paper”. Dirty paper es una técnica que permite transmitir de forma eficiente datos digitales conociendo la información del estado del canal (CSI).

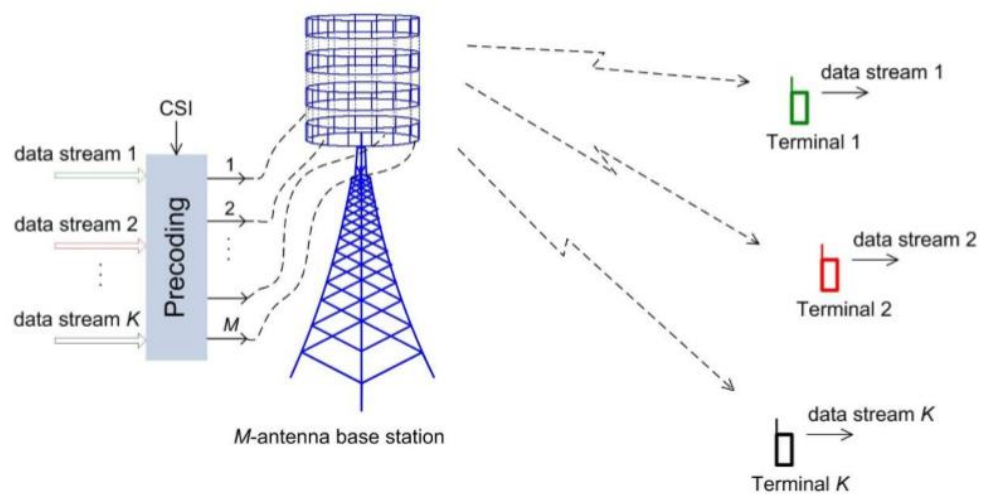
La figura 2.8 muestra la configuración MIMO y MU-MIMO.



**Figura 2.8: Point to Point MIMO vs MU-MIMO [18].**

MASSIVE MIMO es la tecnología más convincente para 5G, consiste en colocar una gran cantidad de antenas en forma de matrices en la estación base, esta configuración de antenas es capaz de dirigir haces de forma horizontal y vertical y así más usuarios pueden ser servidos en paralelo con alta movilidad. Los frentes de ondas emitidos por TX llegan de forma constructiva a la ubicación deseada (RX) y a cualquier otro lugar llega de forma destructiva [4], es decir, las antenas transmiten de forma equilibrada los símbolos portadores de mensaje para que lleguen en fase al terminal de usuario planeado y en desfase en cualquier otro lugar.

La CSI en mMIMO sólo se encuentra en la estación base, el usuario no realiza ningún procesamiento de la señal, este escenario es mostrado en la figura 2.9. Los terminales (UE) transmiten señales piloto a la estación base, así la matriz de antenas usa los estimados de canal obtenidos para conocer el canal en ambas direcciones, esto hace a esta tecnología sea completamente escalable con respecto al número de antenas en la estación [18].



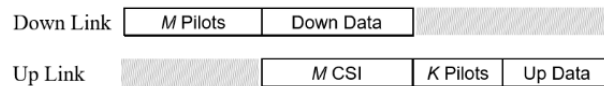
**Figura 2.9: mMIMO [18]**

TDD es la opción favorita de mMIMO debido a que se evita la complejidad de la estimación del canal y el intercambio de canales con FDD [4]. Por ende, TDD garantiza de manera oportuna la información del canal. El gráfico 2.10 muestra la diferencia entre los slots TDD y FDD, el tiempo de formación (training time) TDD es proporcional a los usuarios (K), mientras que en FDD es proporcional a 2 servicios de antenas (M) + K, es decir,  $2M + K$  [18].

- TDD slot:

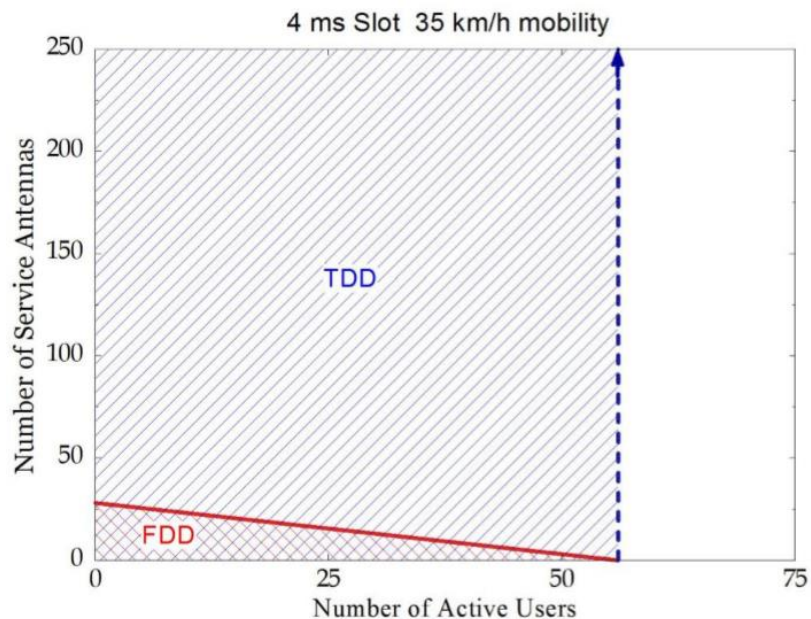


- FDD slot:



**Figura 2.10: Comparación entre FDD y TDD en mMIMO [18].**

Para permitir el uso de FDD en sistemas mMIMO se deben realizar más investigaciones sobre algoritmos de corrección de frecuencia, la matriz de covarianza, entre otros. El gráfico 2.11 muestra la relación TDD y FDD en un escenario de movilidad de 35 Km/h, tomando en cuentas el número de usuarios activos y el número de servicios de antenas, en FDD la movilidad limita el número de usuarios activos [18].



**Figura 2.11: Relación de Antenas de Servicio vs Usuarios Activos [18]**

### 2.7.3 Nuevas Formas de Ondas

La nueva tecnología 5G manejará diversos tipos de tráfico que pueden ser sincrónicos/asincrónicos u ortogonales/no-ortogonales, la tecnología 4G utiliza OFDM que presenta latencias en múltiplos de 10 ms y es manejado bajo una estricta sincronización y ortogonalidad que no es ideal para ciertos eventos antes expuestos [12].



Entonces es ideal una nueva forma de onda más avanzada para mitigar la interferencia, varias investigaciones proponen algunas opciones, entre ellas esta FBMC (Filter Bank Multi-Carrier) , GFDM (Generalized Frequency-Division Multiplexing), UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier), entre otras [12].

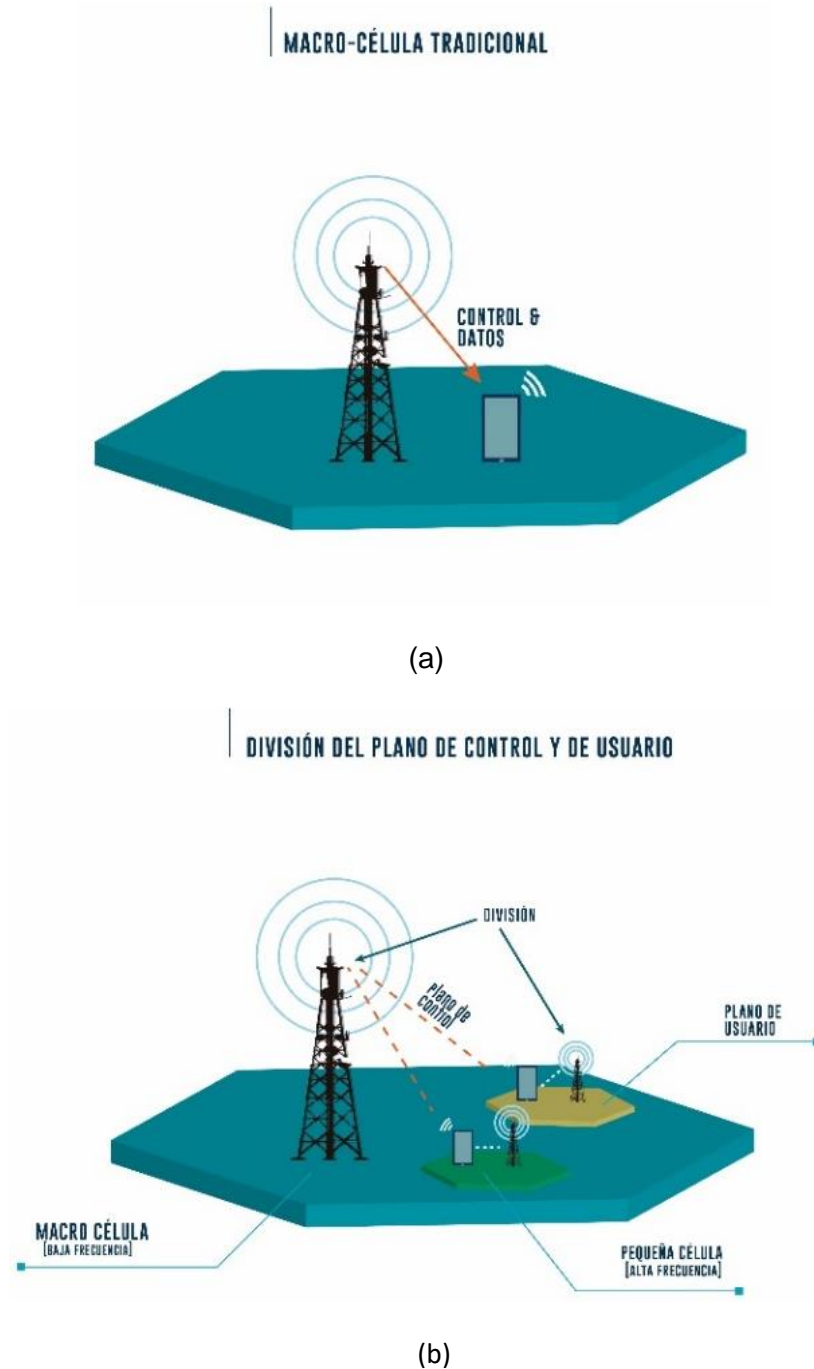
Otra de las opciones es utilizar una forma de onda similar a 4G LTE, es decir que la forma de onda para 5G no sufrirá cambios drásticos [19]. CP-OFDM ofrece mayor eficacia espectral y menos complejidad que las formas de onda multiportadoras alternativas en implementaciones realistas [20].

## **2.8 Diseños del Ecosistema 5G**

### **2.8.1 Software Designe Network (SDN)**

En la red actual LTE (E-UTRAN) la separación del plano de control y el plano de usuario se realiza mediante interfaces S1-MME y S1-U respectivamente desde los eNodeB hacia el EPC. Para la nueva generación se espera que esto se realice desde las celdas (macros y smalls) hacia los terminales UE, esto introducirá rapidez y flexibilidad en la red 5G [4]. La función del plano de control es llevar a cabo los protocolos para que se cumplan las tareas y procedimientos para así realizar las funciones de dicha interfaz, el plano de usuario es la encargada del envío de tráfico generado por el usuario. La configuración tradicional se muestra en el gráfico 2.12(a), donde los datos de control y de usuario se manejan bajo la misma interfaz desde la estación base hacia los terminales UE.

Software Design Network es una de las técnicas mencionadas en el primer estándar 3GPP para 5G, y consiste en separar las funciones del plano de usuario (up) de las funciones del plano de control (cp), esto permite escalabilidad, evolución e implementaciones flexibles independientes [21]. Esta técnica se muestra en la figura 2.12(b). Al dejar las funciones de control a las estaciones macros, las celdas pequeñas se dotan para manejar más altas tasas de datos hacia el terminal al dejar de manejar datos de control.

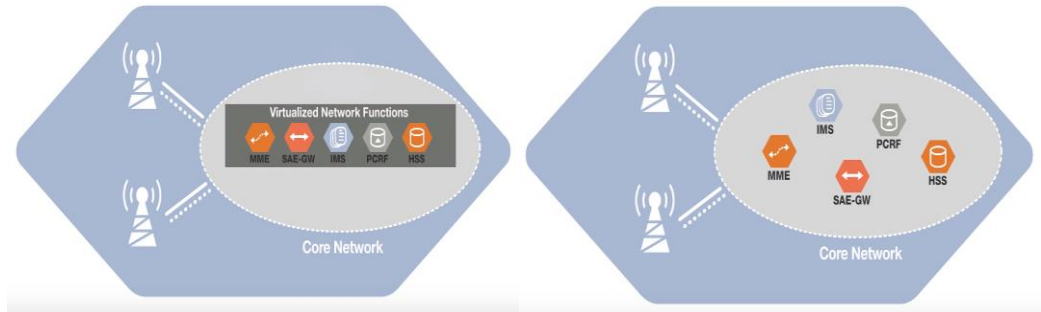


**Figura 2.12: Plano de Control y Plano de Usuario [4]**

### 2.8.2 CloudRan

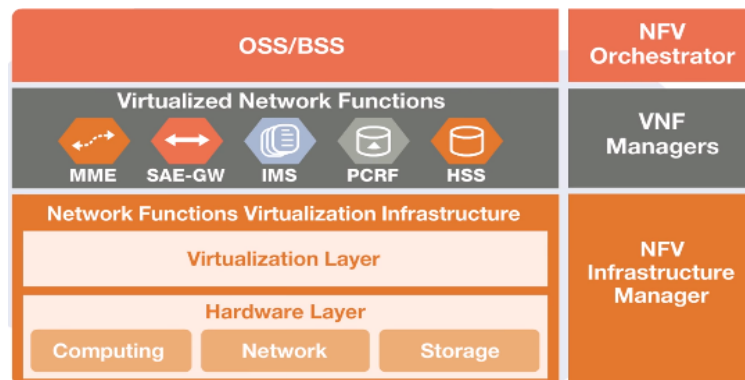
La infraestructura móvil típica está compuesta de Access Points y Core Network, actualmente dentro del Core Network existen elementos especializados que construyen las diferentes tecnologías 2G, 3G y 4G. Sin embargo, la tendencia para 5G es diferente, Network Function Virtualization cambia por completo las funciones realizadas por todo el hardware dentro del Core por un software, es decir, virtualiza y pone todo en la nube [22]. Esto permitirá escalar de forma dinámica y automática los diferentes servicios de red, también presenta

beneficios relacionados con el manejo de altas velocidades de datos necesarios para esta tecnología. Los esquemas mencionados se comparan en el gráfico 2.13.



**Figura 2.13: Virtualización de los elementos de red [43]**

5G se enfoca en mejorar todas las características actuales sin embargo las tecnologías actuales seguirán brindando su servicio, esto conlleva a utilizar nuevas pequeñas celdas, mejoradas técnicas de MIMO, controlar más interferencia, nuevas infraestructuras para redes heterogéneas, etc. Esto da paso a un gasto en a nivel de inversión y operación que obstaculiza moderadamente la implementación de estas, NFV reduce los costos antes mencionados y facilita el camino de 5G para una implementación completa del ecosistema [4]. El modelo de esta nube se presenta en el gráfico 2.14.

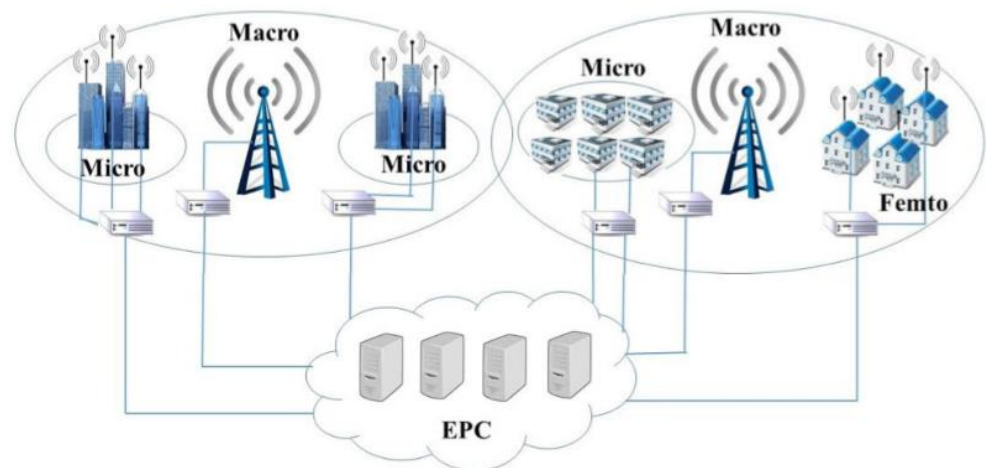


**Figura 2.14: Arquitectura CloudRan [43]**

### 2.8.3 HetNets

Una red heterogénea consiste en añadir muchas celdas pequeñas, sean estas micro, pico o femto celdas, como se muestra en la figura 2.15. Estas celdas se caracterizan por su baja potencia de transmisión además de interactuar con las macro-celdas heredadas, esta configuración tiene como ventaja brindar cobertura y una mejor calidad de servicios en lugares donde el nivel de la señal de la macro-celda es débil, esto ocurre en los límites de la celda donde el

rendimiento puede degradarse considerablemente. Además, es necesario una interacción mutua entre las células pequeñas y la macro para la reducción de interferencia. Otro motivo para la agregación de pequeñas celdas es debido a la demanda de usuarios en lugares críticos donde se supera el promedio de usuarios. El concepto de red heterogénea ya se utilizaba desde 2G donde las celdas pequeñas usan diferentes frecuencias diferentes a las macro celdas, con 4G se propuso la reutilización de las frecuencias [23]. En ambos casos el principal problema es la mitigación de la interferencia entre las celdas.



**Figura 2.15: Redes Heterogéneas [4].**

## CAPITULO 3

### 3 BASES DEL ECOSISTEMA 5G ECUADOR

El primer estándar de 5G es lanzado el día 20 de diciembre del 2017 por 3GPP, que trata del manejo de las infraestructuras ya existentes de LTE para la implementación de 5G. Este capítulo da a conocer las tecnologías de accesos candidatas para el ecosistema 5G en nuestro país, que son el Espectro, Small Cells, Massive-MIMO y Beamforming. Las cuales hoy en día son las que tienen las bases más sólidas para su implementación, así mismo se propone un sistema para la comunicación entre máquinas dentro de 5G. Se toma como base para lo propuesto en este capítulo, un espectro disponible en nuestro país referenciándonos en el primer estándar 3GPP.

También, se dará a conocer las arquitecturas, soportes y controles de diferentes áreas necesarias dependiendo de diferentes parámetros, todo esto basado en la colocación de las tecnologías de acceso ya especificadas.

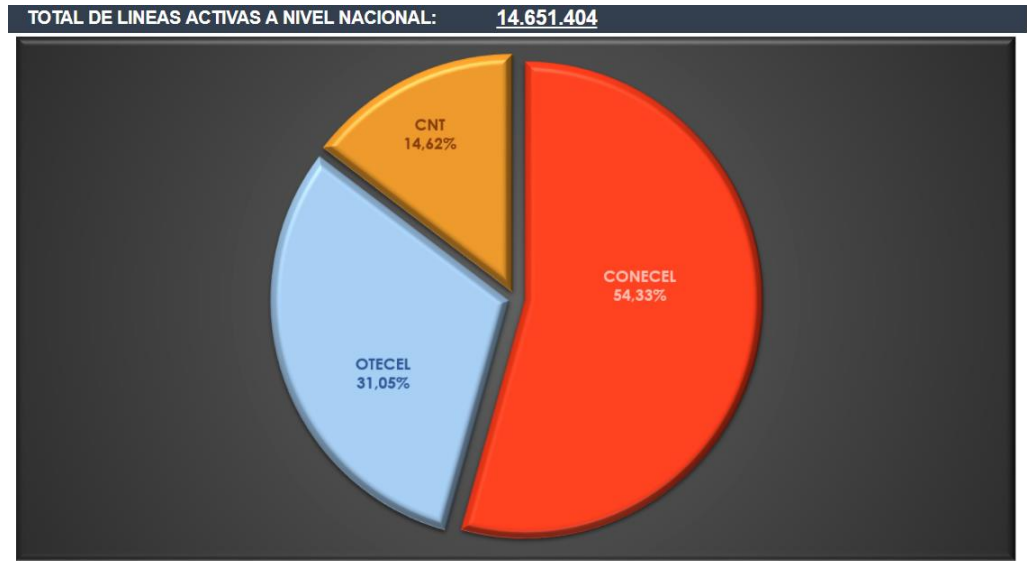
#### 3.1 Espectro

En el 2018 se comenzó a subastar espectro para 5G en diferentes países, la mayoría de estas subastas se encontraban en el rango de 1.5 a 4 GHz. Como ya se explicó en el capítulo 2, los rangos de espectro más deseados son los de rango bajo, que son menores a 3 GHz y rango medio, que se encuentran entre 3-6GHz. Ecuador no ha puesta en marcha la venta de espectro para 5G.

##### 3.1.1 Situación Actual de la Telefonía Móvil en Ecuador

En Ecuador funcionan 3 operadoras las cuales son: OTECEL S.A con el nombre comercial MOVISTAR, CONECEL S.A con su nombre comercial CLARO y CNT con su nombre comercial CNT E.P [25].

Teniendo la siguiente gráfica de cómo se está llevando la penetración comercial en el Ecuador:



**Figura 3.1: Densidad de líneas activas y participación de mercado[25]**

CONECEL se encuentra liderando el mercado de las comunicaciones en Ecuador con el 54.33% seguido por OTECEL con el 31.05% y en tercer lugar CNT con el 14.62% [25]. Hay un crecimiento de Usuarios solo en el aspecto celular, sin mencionar las futuras conexiones con las máquinas para realizar trabajos autónomos. Para todas las operadoras existe un crecimiento el cual tendrá que soportar y que no bastará con las tecnologías de hoy en día.

### 3.1.2 Asignación de Espectros para 5G

La asignación de nuevos espectros depende únicamente de Estado Ecuatoriano, así lo dictan los siguientes artículos: Art. 314 de la Constitución de la República del Ecuador, el Art. 2 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, Art. 13 y 48 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada siendo las más importantes a conocer.

Considerando estos artículos, el Estado deberá promover el espectro necesario o recomendable para que las operadoras trabajen en 5G. Debido a lo establecido en el artículo 48 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada literal e, las operadoras ya sean públicas o privadas no pueden cambiar el uso de los espectros para las cuales fueron asignadas; sin decir que a su vez no se puede dar de baja la tecnología 4G LTE para los usuarios. Por tal motivo se han realizado varias investigaciones necesarias para la elección de espectro para 5G.

### 3.1.3 Estatus regulatorio nacional

Esta nueva tecnología apunta a funcionar en el rango bajo y medio del espectro, para ello es necesario conocer que bandas están disponibles, como ocurrió con la llegada de 4G que conllevó al estado asignar nuevas frecuencias para satisfacer los requerimientos de esta tecnología (40 MHz), se espera que con 5G suceda lo mismo.

A pesar que 5G posee una mayor eficiencia espectral se espera que la cantidad de dispositivos conectados a este ecosistema sea de 100 veces más que los ecosistemas de las tecnologías actuales, por ende, una concesión para el uso de nuevas frecuencias es una opción para esta nueva tecnología.

A continuación, se muestran las bandas actuales en Ecuador:

#### Banda 700 MHz

Conocida como la “Banda de Oro” por sus características de propagación, está comprendida en el rango entre 698 – 806 MHz como se muestra en la tabla 3. Mediante Resolución No TEL-804-29 en el año 2012 por parte de CONATEL (actualmente ARCOTEL) se procedió a brindar nuevas frecuencias en las bandas de 700 MHz, AWS (1700 /2100 MHz) y 2.5 GHz para brindar tecnología 4G, canalizando en bloques de 5 MHz y 10 MHz. La única operadora en obtener espectro en la banda de 700 MHz fue CNT E.P., la canalización de esta banda se muestra a continuación:

| BANDA 700 MHz  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| UPLINK   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 5MHz   | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   |      |
| 698  | 703 | 708 | 713 | 718 | 723 | 728 | 733 | 738 | 743 | 748  |
| 10 MHz DE SEPARACIÓN ENTRE UPLINK Y DOWNLINK (748-758) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| BANDA 700 MHz  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| DOWNLINK   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|  | A'  | B'  | C'  | D'  | E'  | F'  | G'  | H'  | I'  | 3MHz |
| 758  | 763 | 768 | 773 | 778 | 783 | 788 | 793 | 798 | 803 | 806  |

Tabla 3: Banda de 700 MHz

CNT opera en los bloques G-G', H-H' y I-I' que equivalen a 30 MHz quedando libres los bloques A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', que equivalen a 60 MHz disponibles en esta banda.

### Banda 850 MHz

Esta banda esta atribuida y completamente asignada para el uso de sistemas IMT por las operadoras CONECEL S.A. (Claro) y OTECEL S.A. (Movistar) como se muestra en las tablas 4 y 5. Esta banda es utilizada desde 1993, estableciendo una concesión por el uso de estas frecuencias por 15 años en dos ocasiones, es decir en 2008 se renovó nuevamente hasta 2023. En la tabla 5 se muestra un resumen de esta banda.

| BANDA 850 MHz |     |     |       |     |          |     |     |     |       |     |
|---------------|-----|-----|-------|-----|----------|-----|-----|-----|-------|-----|
| UPLINK        |     |     |       |     | DOWNLINK |     |     |     |       |     |
| A1            | A2  | B1  | A3    | B2  |          | A1' | A2' | B1' | A3'   | B2' |
| 824           | 835 | 845 | 846,5 | 849 |          | 869 | 880 | 890 | 891,5 | 894 |

**Tabla 4: Banda 850 MHz**

| OPERADOR     | UPLINK   | DOWNLINK | TOTAL ANCHO DE BANDA |
|--------------|----------|----------|----------------------|
| CONECEL S.A. | 12.5 MHz | 12.5 MHz | 25 MHz               |
| OTECCEL S.A. | 12.5 MHz | 12.5 MHz | 25 MHz               |

**Tabla 3: Resumen de banda 850 MHz**

### BANDA 900 MHz

Mediante Resolución No. 03-02-ARCOTEL.2016 del 24 de febrero del 2016 y recalando que la banda de 900 MHz está establecida internacionalmente en el rango de 880-915 MHz y 925-960 MHz, se destina el rango superior de la banda de 900 MHz para el uso de servicios IMT, ya que la parte inferior de esta banda se sobrepone a la banda de 800 MHz, se propuso en “INFORME DE CANALIZACIÓN DE LAS BANDAS DE 900 Y MHz Y AWS” y se adoptó la siguiente canalización de la banda de 900 MHz mostrada en la tabla 6.

| BANDA 900 MHz |        |     |     |     |          |     |     |     |     |     |
|---------------|--------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1MHz          | UPLINK |     |     |     | DOWNLINK |     |     |     |     |     |
|               | A      | B   | C   | D   | A'       | B'  | C'  | D'  |     |     |
| 894           | 895    | 900 | 905 | 910 | 915      | 940 | 945 | 950 | 955 | 960 |

**Tabla 4: Banda 900 MHz**

Estos bloques libres A-A', B-B', C-C' y D-D' fueron canalizados por bloques de 5 MHz para que sean más atractiva para las operadoras. ARCOTEL mostró el número de portadoras que puede soportar esta banda dependiendo de la tecnología que se implemente, como se muestra en la tabla 7.



| Sistema                   | UpLink  | DownLink | Tecnología | Ancho de Banda Portadoras | Número máximo de portadoras pareadas   |
|---------------------------|---------|----------|------------|---------------------------|--|
| GSM 900<br>(PARA Ecuador) | 895-915 | 940-960  | GSM        | 200 kHz                   | 100  |
|                           |         |          | UMTS       | 5 MHz                     | 4  |
|                           |         |          | LTE        | 5, 10, 15 y 20 MHz        | a) 4 de 5 MHz<br>b) 1 de 15 MHz y 1 de 5 MHz<br>c) 2 de 10 MHz<br>d) 1 de 20 MHz |

**Tabla 5: Portadoras dependiendo de la Tecnología**

### BANDA AWS (1700/2100 MHz)

Esta banda adopta la canalización en bloques de 5 MHz mediante Resolución N° TEL-804-29, en donde se asigna a la empresa pública CNT E.P. los bloques A-A', B-B', C-C', D-D'. Los siguientes bloques E-E', F-F', G-G', H-H' son asignados a CONECEL S.A. Ambas firmas ofrecen la tecnología 4G en estas bandas como se muestra en las tablas 8, en la tabla 9 se muestra un resumen de esta banda.

| BANDA 1700/2100 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| UPLINK          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| A               | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I    | J    | K    | L    | M    | N    |      |
| 1710            | 1715 | 1720 | 1725 | 1730 | 1735 | 1740 | 1745 | 1750 | 1755 | 1760 | 1765 | 1770 | 1775 | 1780 |
| BANDA 1700/2100 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| DOWNLINK        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| A'              | B'   | C'   | D'   | E'   | F'   | G'   | H'   | I'   | J'   | K'   | L'   | M'   | N'   |      |
| 2110            | 2115 | 2120 | 2125 | 2130 | 2135 | 2140 | 2145 | 2150 | 2155 | 2160 | 2165 | 2170 | 2175 | 2180 |

**Tabla 6: Banda de 1700-2100 MHz**

| OPERADORA    | UPLINK                            | DOWNLINK                                | TOTAL ANCHO DE BANDA |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------|
| CONECEL S.A. | BLOQUES ; E,F,G,H<br>(20 MHz)     | BLOQUES ; E',F',G',H'<br>(20 MHz)       | 40 MHz               |
| CNT E.P.     | BLOQUES ; A,B,C,D<br>(20 MHz)     | BLOQUES ; A',B',C',D'<br>(20 MHz)       | 40 MHz               |
| LIBRES       | BLOQUES ; I,J,K,L,M,N<br>(30 MHz) | BLOQUES ; I',J',K',L',M',N'<br>(30 MHz) | 60 MHz               |

**Tabla 7: Resumen de la banda 1700/2100 MHz**

### BANDA 1900 MHz

El rango de esta banda está en 1850 -1910 MHz (UPLINK) y 1930 -1990 MHz (DOWNLINK).

### BANDA 2.5 GHz

Esta banda adopta la canalización en bloques de 10 MHz y su rango va desde 2500- 2690 MHz, todos sus bloques están actualmente disponibles como se muestra en la tabla 10.

| BANDA 2.5 GHz                        |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| FDD (70 MHz)                         |      |      |      |      |      |      |      |
| A                                    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |      |
| 2500                                 | 2510 | 2520 | 2530 | 2540 | 2550 | 2560 | 2570 |
| TDD (50 MHz)                         |      |      |      |      |      |      |      |
| 5 BLOQUES DE 10 MHz : V ,W , X, Y, Z |      |      |      |      |      |      |      |
| 2570                                 |      |      |      | 2620 |      |      |      |
| FDD (70 MHz)                         |      |      |      |      |      |      |      |
| A'                                   | B'   | C'   | D'   | E'   | F'   | G'   |      |
| 2620                                 | 2630 | 2640 | 2650 | 2660 | 2670 | 2680 | 2690 |

**Tabla 8 Banda de 2.5 GHz**

Algunas operadoras ya trabajan en ciertas bandas con otras tecnologías, esta utilización del espectro indica que es mejor trabajar en el rango medio o a partir de 2.5 GHz, ya que son bandas que se encuentran disponibles para el uso de la tecnología que caracteriza a 5G [26].

Cabe mencionar que no se puede dejar atrás las redes de 4G LTE ya que la mayoría de las tecnologías soportan este sistema, por lo cual, no se puede dejar sin cobertura a estos usuarios.

#### 3.1.4 Espectros para 5G.

3GPP se maneja en 2 rangos de frecuencias (manejando rango bajo y medio en un solo rango) estos 2 rangos se muestran en la tabla 11 , en nuestro estudio nos basamos sólo en el primer rango (AF1).

| Asignaciones de Frecuencia | Rango                 |
|----------------------------|-----------------------|
| AF1                        | 450 MHz – 6000 MHz    |
| AF2                        | 24250 MHz – 52600 MHz |

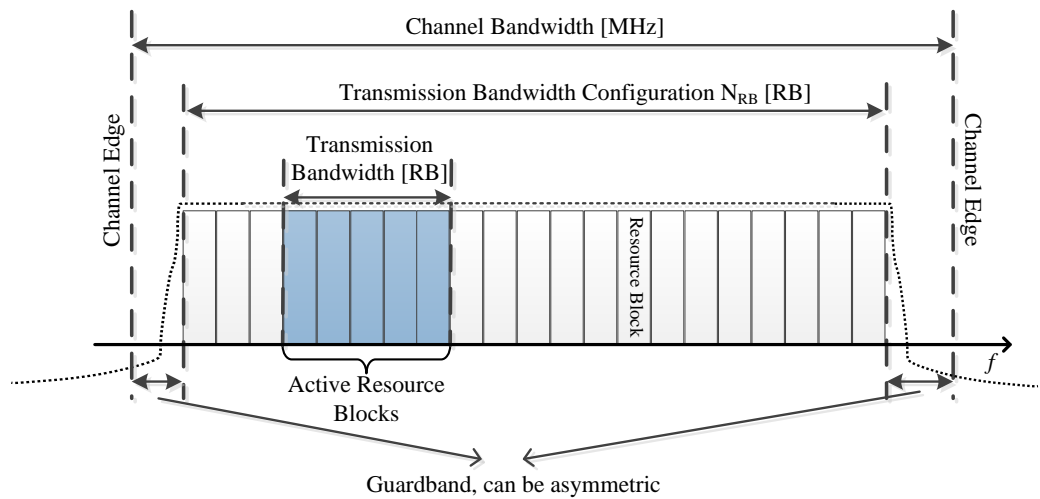
**Tabla 9: Asignación de frecuencias [26]**

3GPP ha definido bandas de frecuencias para 5G en modo Dúplex FDD y TDD para UpLink y DownLink (carga y descarga), dando la posibilidad de comunicar diferentes tecnologías. Esto se observa en la tabla 12.

| <b>Band number</b> | <b>UL</b>       | <b>DL</b>       | <b>Duplex mode</b> |
|--------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| n1                 | 1920 – 1980 MHz | 2110 – 2170 MHz | FDD                |
| n2                 | 1850 – 1910 MHz | 1930 – 1990 MHz | FDD                |
| n3                 | 1710 – 1785 MHz | 1805 – 1880 MHz | FDD                |
| n5                 | 824 – 849 MHz   | 869 – 894MHz    | FDD                |
| n7                 | 2500 – 2570 MHz | 2620 – 2690 MHz | FDD                |
| n8                 | 880 – 915 MHz   | 925 – 960 MHz   | FDD                |
| n20                | 832 – 862 MHz   | 791– 821MHz     | FDD                |
| n28                | 703 – 748 MHz   | 758 – 803 MHz   | FDD                |
| n38                | 2570 – 2620 MHz | 2570 – 2620 MHz | TDD                |
| n41                | 2496 – 2690 MHz | 2496 – 2690 MHz | TDD                |
| n50                | 1432 – 1517 MHz | 1432 – 1517 MHz | TDD                |
| n51                | 1427 – 1432 MHz | 1427 – 1432 MHz | TDD                |
| n66                | 1710 – 1780 MHz | 2110 – 2200 MHz | FDD                |
| n70                | 1695 – 1710 MHz | 1995– 2020 MHz  | FDD                |
| n71                | 663 – 698 MHz   | 617 – 652 MHz   | FDD                |
| n74                | 1427 –1470 MHz  | 1475 – 1518 MHz | FDD                |
| n75                | N/A             | 1432 – 1517 MHz | SDL                |
| n76                | N/A             | 1427 – 1432 MHz | SDL                |
| n77                | 3.3 – 4.2 GHz   | 3.3 – 4.2 GHz   | TDD                |
| n78                | 3.3 – 3.8 GHz   | 3.3 – 3.8 GHz   | TDD                |
| n79                | 4.4 – 5.0 GHz   | 4.4 – 5.0 GHz   | TDD                |
| n80                | 1710 – 1785 MHz | N/A             | SUL                |
| n81                | 880 – 915 MHz   | N/A             | SUL                |
| n82                | 832 – 862 MHz   | N/A             | SUL                |
| n83                | 703 – 748 MHz   | N/A             | SUL                |
| n84                | 1920 – 1980 MHz | N/A             | SUL                |
| n85                | 2496 – 2690 MHz | N/A             | SUL                |

**Tabla 10: Asignación de frecuencias UL y DL [26]**

En donde la estructura del canal de ancho de banda está representada tomando en cuenta los parámetros de SCS (Sub-Carrier Spacing), GuardBand (Banda de Guardia) y Transmisión de Ancho de banda [26]. Esto se muestra en la figura 3.2. La máxima transmisión de ancho de banda viene simbolizada por  $N_{rb}$ .



**Figura 3.2: Definición del Ancho de Banda 5G [26]**

Para lograr aprovechar el máximo de eficiencia de los espectros se han realizado varias investigaciones en temas de multi-portadora y portadora única para propósitos de radio acceso de 5G, existen algunos candidatos para la forma de onda que se maneja entre ellos están:

- CP-OFDM
- FBMC
- UFMC
- GFDM

CP-OFDM no sufre cambios bruscos en la parte de pruebas no lineales, siendo uno de los candidatos principales para 5G. 3GPP especifica 2 muy importantes que son CP-OFDM y DFT-S-OFDM. DFT-S-OFDM es un complemento de CP-OFDM para estaciones base que manejen frecuencias de 40GHz, la forma de onda CP-OFDM puede ser usado para single-stream o para multi-stream. Para 5G los RB (Bloque de Recursos) o con las siglas de 3GPP  $N_{RB}$  dependen del SCS, esto se representa en la tabla 13.

| SCS (kHz) | 5MHz     | 10MHz    | 20 MHz   | 40 MHz   | 50MHz    | 80 MHz   | 100 MHz  |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|           | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ | $N_{RB}$ |
| 15        | 25       | 52       | 106      | 216      | 270      | N/A      | N/A      |
| 30        | 11       | 24       | 51       | 106      | 133      | 217      | 273      |
| 60        | N/A      | 11       | 24       | 51       | 65       | 107      | 135      |

**Tabla 11: Número de Radio Bloques**

Dando un total de sub-portadoras por canal de ancho de banda aproximado que se muestra en la tabla 14.

| SCS<br>KHz | 5MHz |     | 10MHz |     | 20 MHz |      | 40 MHz |      | 50MHz |      | 80 MHz |      | 100 MHz |      |
|------------|------|-----|-------|-----|--------|------|--------|------|-------|------|--------|------|---------|------|
|            | UL   | DL  | UL    | DL  | UL     | DL   | UL     | DL   | UL    | DL   | UL     | DL   | UL      | DL   |
| 15         | 301  | 300 | 625   | 624 | 1273   | 1272 | 2593   | 2592 | 3241  | 3240 | N/A    | N/A  | N/A     | N/A  |
| 30         | 67   | 66  | 145   | 144 | 307    | 306  | 637    | 636  | 799   | 798  | 1303   | 1302 | 1639    | 1638 |
| 60         | N/A  | N/A | 34    | 33  | 73     | 72   | 319    | 318  | 196   | 195  | 322    | 321  | 406     | 405  |

**Tabla 12: SubPortadoras 5G**

Siendo UL (UpLink) y DL (DownLink), esto produce un ancho de banda óptimo que se muestra en la tabla 15, donde las unidades se encuentran en MHz.

| SCS<br>[kHz] | Channel bandwidths [MHz] |      |       |       |       |       |       |       |  |
|--------------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|              | 5                        | 10   | 20    | 40    | 50    | 60    | 80    | 100   |  |
| 15           | 4.5                      | 9.36 | 19.08 | 38.88 | 48.6  | N.A   | N.A   | N.A   |  |
| 30           | 3.96                     | 8.64 | 18.36 | 38.16 | 47.88 | 58.32 | 78.12 | 98.28 |  |
| 60           | N.A                      | 7.92 | 17.28 | 36.72 | 46.8  | 56.88 | 77.04 | 97.20 |  |

**Tabla 13: Uso de Ancho de Banda Efectivo [26]**

LTE se maneja únicamente con 15KHz de SCS mientras que para la 5G se tiene más SCS a manejar, lo cual es una gran diferencia entre la evolución que se tiene en ambas, los SCS nos permiten tener más símbolos en los RB debido a la longitud de símbolos se acorta. ver tabla 16.

| SCS [KHz]                 | 15     | 30    | 60    |
|---------------------------|--------|-------|-------|
| Longitud de Símbolo [us]  | 266.67 | 66.67 | 33.33 |
| Longitud de SubFrame [ms] | 1      | 0.5   | 0.25  |

**Tabla 14: SCS con respecto a su Longitud de Símbolo y Subframe**

### 3.2 Comunicación Tipo Máquina (MTC)

Este tipo de comunicación conecta máquinas, dispositivos, artefactos, sensores, entre otros, utilizando las redes móviles, Wireless, ZigBee, Satelital, etc. En Ecuador ya se cuenta con M2M, todas operadoras móviles actualmente ofrecen este servicio con las tecnologías 2G y 3G, exceptuando a CNT que comenzó a promover este servicio en 4G recientemente a través de una publicación en noviembre del 2017 con mejorados servicios de Telemetría que operan en 3G/4G [27]. El funcionamiento convencional es utilizar las estaciones base para controlar el tráfico generado por MTC, compartiendo los recursos del espectro con usuarios móviles de esa tecnología, debido al decrecimiento de usuarios en 2G y 3G, el uso de este espectro para ofrecer MTC actualmente es ideal debido a la poca demanda y la no utilización de servicios de ultra baja latencia.

Claro en su portal Web [28] establece que M2M permite que diversos dispositivos compartan información a través de la red de Claro”, de este modo se puede deducir los problemas a venir al utilizar la red de 2G/3G para dar este servicio:

- Las operadoras móviles no obtienen el mejor provecho por el espectro por el que pagan, la eficiencia espectral de 2G y 3G es hasta 6 veces más comparada con 4G, debido a las diferentes técnicas entre estas tecnologías, lo mismo ocurre comparando 4G y 5G.
- La demanda de MTC aumentará considerablemente en los próximos años, lo que requerirá más espectro si se mantiene el servicio en estas tecnologías.
- La latencia en la capa física de estas tecnologías no satisface las necesidades de servicios que requieren URLLC.

### 3.2.1 Numeración en Ecuador para M2M

Los diferentes tipos de servicios para este tipo de comunicación se promueven ya hace varios años en el mundo, donde varios investigadores definen el potencial de este tipo de comunicación. En nuestro país en el año 2013 mediante Resolución TEL-068-04-CONATEL-2013 se definió un plan de numeración para el módulo identificador de suscriptor (SIM) para prestar diferentes servicios de datos entre máquinas [29] La numeración se muestra en la figura 3.3.



**Figura 3.3: Numeración M2M Ecuador [29]**

Donde:

DN : Códigos de Red para servicios M2M (2 dígitos)

NM: Número de máquina o Sensor (7 dígitos)

Específicamente para servicios M2M la asignación del DN es 7X, donde “X” toma valores de 6, 7, 8 y 9, es decir, 76, 77, 78 y 79. Se resalta que esta asignación es de tipo No Geográfica, lo que implica que dicha numeración es única a nivel nacional. Teniendo en cuenta esta numeración proponemos categorizar de la siguiente manera:

- 76,77 para máquinas estáticas, sin movilidad
- 78 para máquinas de movilidad moderada

- 79 para máquinas de movilidad alta

Esta categorización ayudará para el caso de máquinas estáticas a la asignación por sectores en servicios como es la lectura de sensores de agua y electricidad, de manera que se podrá controlar y administrar los servicios básicos de manera rápida y eficiente, en este caso por la empresa CNT. Para las siguientes categorizaciones, ésta asignación ayudará a las celdas a decidir sobre la mejor asignación de recursos para un proceso eficiente de intercambios de información entre celdas.

### 3.2.2 Red Heterogénea en Sistemas M2M

Una red heterogénea implica trabajar a diferentes niveles de potencia para brindar diferentes áreas de cobertura tomando como factor primordial la longitud de onda, es decir la frecuencia de operación. Gracias a esta característica de las ondas se logra una mayor o menor atenuación, para nuestro diseño tomamos 3 rangos de frecuencias disponibles en el Estatus Regulatorio Nacional específicamente en el rango RF1 de 3GPP, estos rangos de frecuencias específicamente son la banda de 700 MHz, 900 MHz y 2.5 GHz que se encuentran totalmente disponibles, exceptuando la banda 700 MHz que está parcialmente utilizada. Dichos rangos no sólo satisfacen nuestro diseño del sistema M2M sino también un sistema SDN, que es una de las tecnologías importantes para la estandarización 5G. Además, la banda de 2.5GHz esta seccionada en modo FDD y TDD, donde TDD importante para un sistema mMIMO.

Nuestro diseño divide el espectro designado anteriormente para 5G para los sistemas M2M para lograr una infraestructura de red dedicada y así obtener múltiples beneficios entre ellos la mitigación de la interferencia con los usuarios celulares, la seguridad de la información, entre otros. Esto se lo muestra en la tabla 17. La proporción de la frecuencia 5G dedicada para M2M es debida a la tasa de datos, ya que esto en M2M es mucho menor y de forma eventual comparada con la telefonía celular.

| ESPECTRO 5G                     |                  |
|---------------------------------|------------------|
| BAJA FRECUENCIA (700 - 900 MHz) |                  |
| M2M                             | ESPECTRO CELULAR |
| ALTA FRECUENCIA (2.5G Hz )      |                  |
| M2M                             | ESPECTRO CELULAR |

**Tabla 15: Espectro 5G**

Se trabaja sobre el espectro 5G y no sobre 2G, 3G ni 4G debido a que esta tecnología ofrece mejores características, además que en su primera fase de implementación (NON STAND-ALONE) lo desarrolla sobre la estructura 4G, que ya da cobertura en muchos lugares a nivel nacional. Nuestra visión a corto plazo es que la tecnología 2G se apague y los usuarios actuales de M2M que funcionan en 2G deben llevar un proceso de migración a tecnologías superiores. Para 3G y 4G ciertos servicios M2M no cumplen condiciones para uRRL, entonces, ¿Por qué no 5G? .

El diseño de la red M2M consiste en pequeñas celdas conectadas a una macrocelda, es decir, la frecuencia de operación de cada pequeña celda es distribuida de forma que no causen interferencia co-canal entre dichas celdas debido a la re-utilización de estas. Para nosotros una característica primordial de una “máquina inteligente” es trabajar a baja potencia para así tener un tiempo de funcionamiento prolongado, este es nuestro principal motivo para las pequeñas celdas, estas pequeñas celdas reciben la información del entorno al cual fueron asignadas y envía la información a la macrocelda asignada a través de un enlace microondas o por fibra. Esto depende del despliegue de la operadora.

### **3.2.3 Diferencias con la Red Celular 5G**

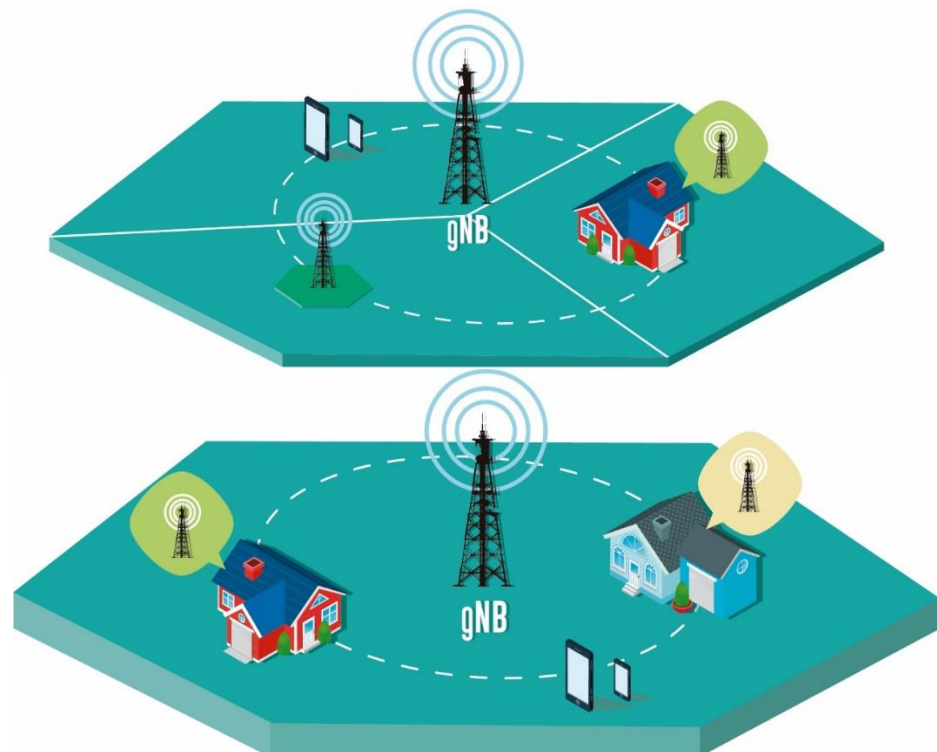
Hay dos puntos que recalcar en este diseño que diferencian a la red celular con el sistema M2M, ambos en 5G. Primero, M2M busca conectar toda clase de máquina (IoT), esto incluye electrodomésticos u cualquier objeto inteligente en un hogar cotidiano, estos tipos de máquina normalmente se conectan a la red Wifi del hogar, entonces todas estas interactúan dentro de un pequeño rango sin necesidad de conectarse a una celda exterior para llegar a la nube de internet. En cambio, las máquinas en un ambiente exterior tienen movilidad en su gran mayoría. Por lo tanto, un sistema M2M que permita interactuar entre varias celdas con prioridad en ambientes exteriores es el objetivo de nuestro diseño.

Como segundo punto, la red celular 5G tiene definido en su primer estándar separar el plano de usuario (UP) y el plano de control (CP), entonces el terminal UE debe trabajar con la suficiente potencia para que sus señales de control lleguen mucho más allá que la celda más cercana, como ya mencionamos las máquinas M2M trabajan a baja potencia, por lo tanto, en nuestro diseño UP y CP trabajaran con celda pequeña que este dentro su rango y esta se comunicará con la macrocelda asignada.



### 3.2.4 Hetnets/Smallcell

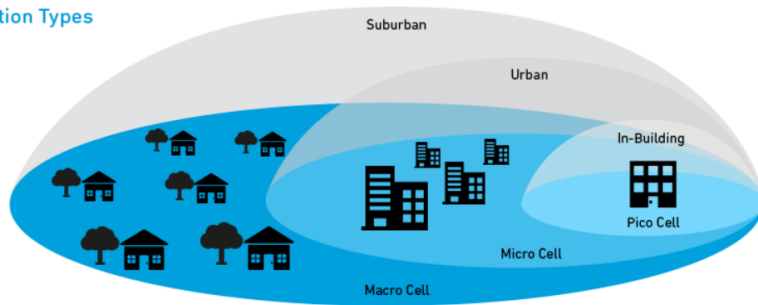
Una de los métodos comunes de las operadoras para hacer frente al crecimiento de máquinas es la agregación de celdas pequeñas que se integran a las macro celdas y así distribuye el tráfico de la telefonía celular, manteniendo un alto rendimiento y calidad de servicio reutilizando el espectro de manera eficiente [23]. Para aumentar la capacidad de los mismo se los coloca en puntos específicos donde se concentren la mayor cantidad tráfico ver figura 3.4.



**Figura 3.4: Redes Heterogéneas macro, micro y femto.**

Estas redes heterogéneas pueden referirse como macro-, micro-, pico- femto-celdas y están representadas en la siguiente figura 3.5, donde se categorizan por las diferentes potencias que manejan, siendo la femto-celda la que maneja menores potencias.

Base Station Types



| Cell Type  | Output Power (W) | Cell Radius (km) | Users       | Locations      |
|------------|------------------|------------------|-------------|----------------|
| Femtocell  | 0.001 to 0.25    | 0.010 to 0.1     | 1 to 30     | Indoor         |
| Pico Cell  | 0.25 to 1        | 0.1 to 0.2       | 30 to 100   | Indoor/Outdoor |
| Micro Cell | 1 to 10          | 0.2 to 2.0       | 100 to 2000 | Indoor/Outdoor |
| Macro Cell | 10 to >50        | 8 to 30          | >2000       | Outdoor        |

qorvo

©2017 Qorvo, Inc.

Figura 3.5 Tipos de Estaciones Base, Qorvo 2017

Otros tipos de estaciones con baja potencias son los Relay Node (RN) que son conectados a los Donor eNB (DeNB) como se muestra en la figura 3.6. Para la perspectiva de una máquina o un usuario un RN toma el acto de un gNB y desde la perspectiva de un DeNB el RN es considerado un usuario [23].

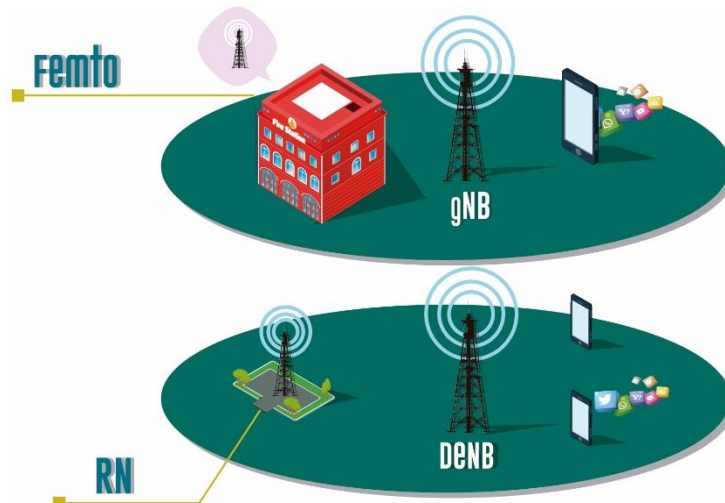


Figura 3.6: Representación Femto y Relay Node con la macro base.

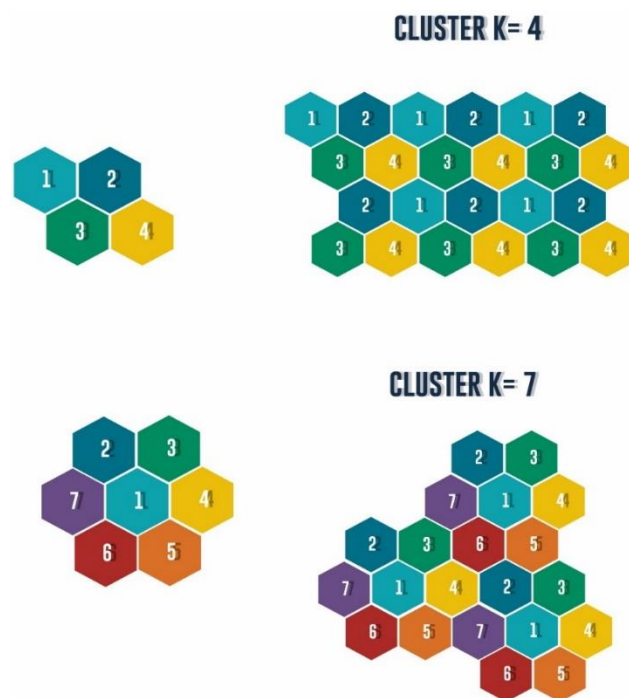
Los UE se conectarán a la celda del cual reciba más potencia, el enfoque de las Small Cell es la reutilización de frecuencias, estas pequeñas celdas permiten una reutilización geográfica del espectro.

5G es el principal motor para la implementación adecuada de small cells debido a la solidez que tiene y a su esquema de codificación que comparado con LTE es mucho mayor.

### 3.2.5 Reutilización de Frecuencia

La reutilización de frecuencia es uno de los más importantes temas de 5G, utilizada en las redes para la cancelación y elusión de interferencias. Con el fin de trabajar con el reúso de frecuencia se tiene en cuenta dos condiciones básicas.

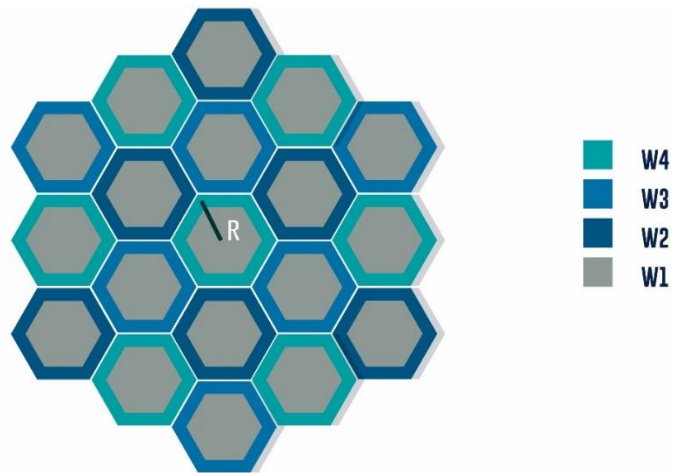
- El nivel de potencia del transmisor dentro de una celda debe estar limitado para que se evite cualquier tipo de interferencia que exista.
- Las celdas vecinas no pueden compartir el mismo canal o los mismos canales.



**Figura 3.7: Reutilización de Frecuencias para Macro celdas**

El factor reutilización de frecuencia se define  $1$  sobre el número de clúster que tiene el sistema, por ejemplo, si tenemos un factor de  $1/4$  de reúso de frecuencia, la banda asignada se divide en 4 bandas, ninguna celda debe tener la misma banda, la cual hace que el clúster tenga el menor número de celdas. Ver en figura 3.7.

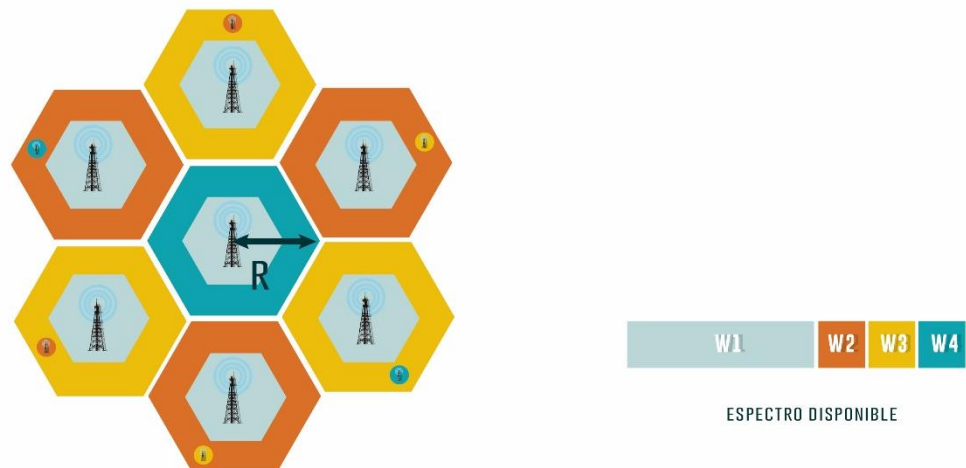
Las Small Cells se colocan en lugares o sectores específicos, por ejemplo, si se tiene una celda con el factor de  $1/3$ , la small cell tendrá otra banda posible para trabajar, evitando cualquier interferencia de las celdas vecinas. Se muestra un ejemplo en la figura 3.8.



**Figura 3.8: Reutilización de Frecuencia factor 3 con 4 bandas.**

Siendo  $w_2$ ,  $w_3$ ,  $w_4$  frecuencias para regiones exteriores y  $w_1$  frecuencia para regiones interiores [30].

Si una femtocelda, microcelda o un RN se encuentra en la región externa de la macrocelda, la frecuencia interna de la small cell se puede reutilizar para los usuarios de la femtocelda, microcelda y para el RN, pero a su vez estas no pueden usar subbandas que se encuentre en el subborde de la celda, por los cuales estas necesitan bajas potencias y las estaciones base (BS) debe tener una mayor potencia máxima para que abarque el borde de las celdas. Una visión general de la reutilización de frecuencia se muestra en la figura 3.9.



VISION GENERAL DEL GRUPO DESPUES DE LA DISTRIBUCION ESPECTRAL

**Figura 3.9: Visión general de la distribución espectral.**

5G no reemplazará 4G, esta nueva tecnología permite una mayor diversidad en aplicaciones que 4G no soporta, por lo cual 4G en cuestión de Small Cell seguirá en paralelo con 5G.

### 3.3 Arquitectura del sistema 5G.

En esta sección analizamos el modelo de arquitectura 5G y su interfuncionamiento con la EPC (Evolved Packet Core) de E-UTRAN para la especificación NON-STANDALONE 5G NR, planteado en el primer estándar global 5G en 3GPP. Partiendo de esto proponemos una arquitectura para nuestro país tomando en cuenta factores como eficiencia energética, eficiencia espectral, entre otros.

#### 3.3.1 Interacción entre las funciones de red del sistema 5G

La arquitectura 5G es basada en servicios e interacciones entre las funciones de red y es representada de 2 maneras, en servicios y punto de referencia [26], entre algunas de estas funciones y entidades tenemos:

AMF. - Función de administración de movilidad y acceso.

SMF. - Función de administración de sesión.

UPF. - Función de plano de usuario.

PCF. - Función de control de política.

UDM. - Gestión unificada de datos.

Del gráfico 3.10 se muestra que el UE se conecta por medio de una interfaz N1 a la función AMF, que dentro del plano de control autoriza a otras funciones de red para acceder a sus servicios, esto se conoce como representación basada en servicios. Otra forma es tener una representación de punto de referencia, en la cual existe una interacción entre los servicios de las funciones de red, por ejemplo, una interfaz entre AMF y SMF [26].

Las funciones del plano de usuario acceden a través de (R)AN para acceder a los datos de red, esto muestra la separación del plano de usuario y el plano de control, esta separación permite una escalabilidad independiente.

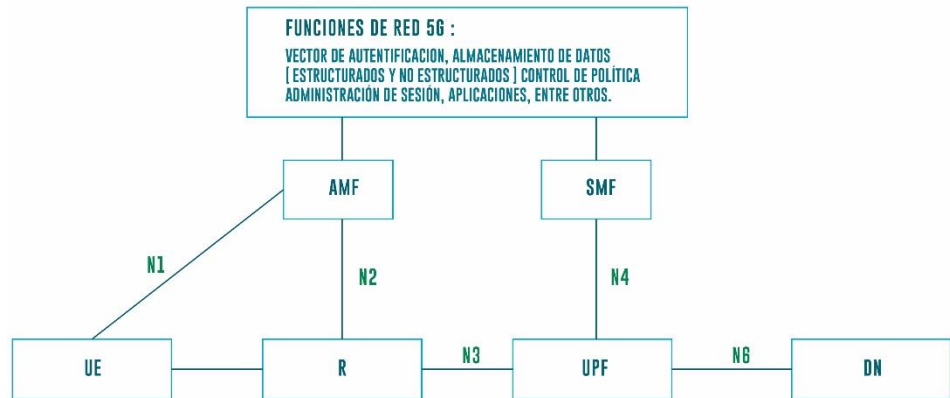


Figura 3.10: Funciones de Red 5G [26]

La figura 3.10 es el caso de non-roaming con una representación basada en servicios, es decir, que no opera en un área de servicio al que no se ha suscrito, recalando que “Las funciones de red dentro del plano de control 5GC (5G CORE) sólo usarán interfaces basadas en servicios para sus interacciones” [26]. Las diversas opciones del New Radio Access Network se muestran en la figura 3.11 donde la opción 3 y 3a funcionan en conjunto con E-UTRAN mientras que la opción 2 trabaja sólo con NGC (New Generation Core). Las opciones 7 y 4 comienzan a penas se establecen las opciones 3 y 2 antes mencionadas. Debido a esto en su primera versión NON-STANDALONE 5G aprovechará las interfaces aéreas de LTE y del NR (New Radio), así como el Core actual de LTE [24].

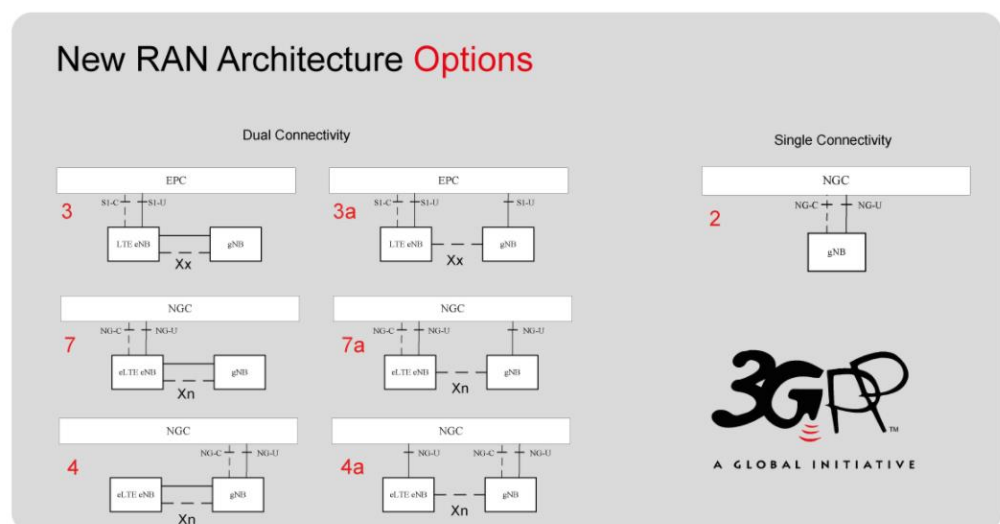


Figura 3.11: Nueva Arquitectura RAN [24].

### 3.3.2 Arquitectura 5G con EPC

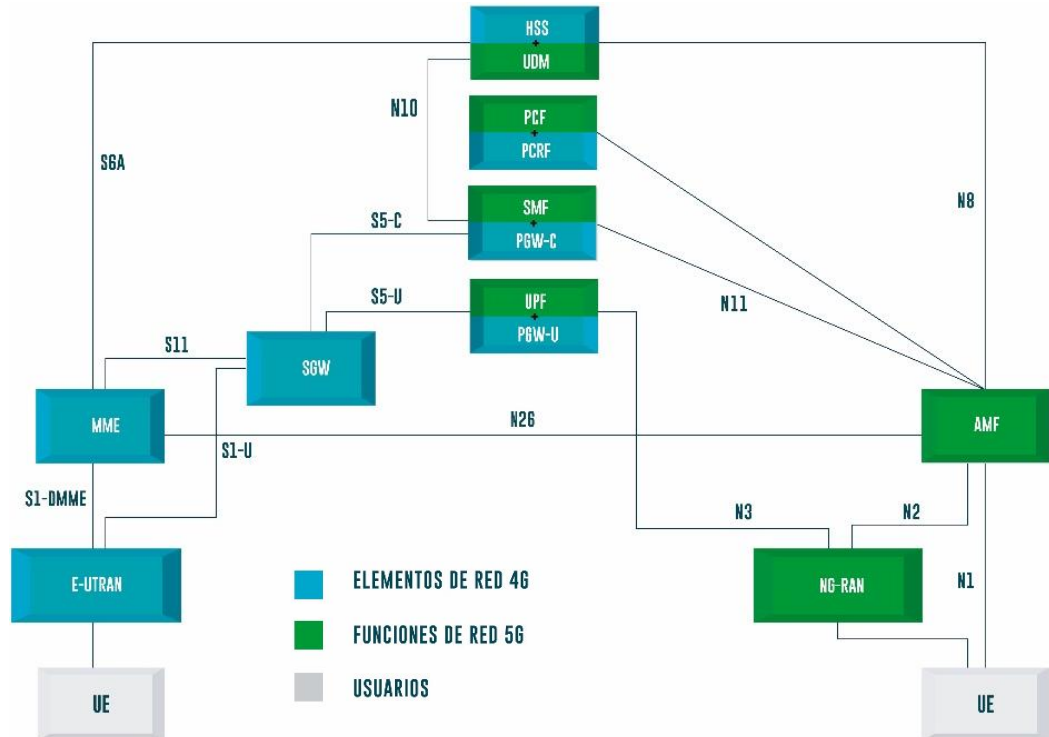
El inter-funcionamiento entre 5G con el EPC/E-UTRAN se muestra en la figura 3.12 para non-roaming, permite la temprana introducción del Nuevo Radio (NR)

de 5G, esto conlleva a una reestructuración de los elementos de red a funciones de red. El detalle de los elementos de red e interfaces E-UTRAN se muestran en la tabla 18.

| ELEMENTOS DE RED E-UTRAN                                 |  |
|--|--|
| <b>HSS (Home Subscriber Server)</b>                      | Una base de datos que contiene información del usuario y suscriptor                                |
| <b>SGW (Serving Gateway)</b>                             | Transporta el tráfico de datos IP desde el UE hacia redes externas                                 |
| <b>MME (Mobility Management Entity)</b>                  | Señalización de movilidad y seguridad de acceso E-UTRAN  |
| <b>PGW (Packet Data Network Gateway)</b>                 | Punto de interconexión entre el EPC y redes IP externas  |
| <b>PCRF (Policy Control and Charging Rules Function)</b> | Nodo (software) utilizado para determinar reglas de políticas en tiempo real en una red multimedia |
| INTERFACES E-UTRAN                                       |  |
| <b>S1-MME</b>  | Punto de referencia para el protocolo de plano de control (señalización)                           |
| <b>S1-U</b>  | Punto de referencia para el protocolo de aplicación que encapsula la carga útil del UE             |
| <b>S11</b>   | Protocolo que transfiere los mensajes de señalización  |
| <b>S5</b>  | Proporciona movilidad para accesos 3GPP y no 3GPP  |
| <b>S6a</b>   | transferencia de datos de suscripción y autenticación para autenticar / autorizar el acceso        |

**Tabla 16: Elementos e Interfaces 4G LTE**

La interfaz N26 es la que permite el interfuncionamiento entre EPC (MME) y NG CORE (AMF), N26 admite un subconjunto de funcionalidades esenciales para el interfuncionamiento entre 4G y 5G. Los bloques PCF + PCRF, PGW-C + SMF y UPF + PGW-U tienen como objetivo soportar el interfuncionamiento entre 5GS y EPC y se basan en las capacidades de red y UE. Sin embargo, estas no están sujetas al interfuncionamiento, entonces pueden ser atendidas por entidades no dedicadas al interfuncionamiento [26].



**Figura 3.12: 5G en conjunto con 4G [26]**

La red de acceso de radio NG-RAN definida en el primer estándar de 3GPP admite una o más de las siguientes opciones:

- 1) Nueva radio independiente.
- 2) Nueva radio es el ancla con extensiones E-UTRA.
- 3) Independiente E-UTRA.
- 4) E-UTRA es el ancla con nuevas extensiones de radio.

### 3.3.3 Massive MIMO y SMALL CELLS en el ecosistema 5G

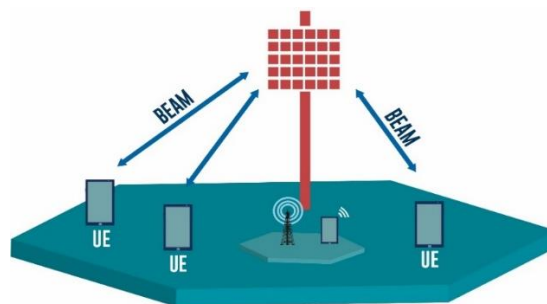
Massive MIMO (mMIMO) utiliza muchas antenas para formar un haz nítido hacia el UE reduciendo la interferencia y así obtener una mayor eficiencia espectral, así mismo debido a que el control de la potencia es independiente de la frecuencia también se logra una mejorada eficiencia energética [18]. Por otro lado, las small cells constan de micro/femto celdas con número de antenas limitadas y debido a la corta distancias entre estas celdas y el UE las pérdidas de trayecto e interferencia co-canal disminuyen. En “Massive MIMO versus Small-Cell Systems: Spectral and Energy Efficiency Comparison” se mostró que small cell siempre superan en eficiencia energética a mMIMO, por lo tanto, ambas tendencias apuntan a mejorar la eficiencia energética y espectral. Entonces ¿En qué escenario convienen las dos?



A pesar de haber muchos estudios que traten mMIMO y small cells, existen muy poco que comparen su desempeño en conjunto [31]. Varios de estas investigaciones utilizan Procesos de punto de Poisson (PPP), geometría estocástica, entre otros, para modelar sistemas y evaluar el rendimiento de estas tecnologías. Para frecuencias menores a 6 GHz mMIMO puede funcionar como estación macro con beneficios como soportar la alta movilidad de un usuario, tener una alta capacidad de usuarios simultáneos, entre otros. En cambio, al trabajar con frecuencias muy altas la eficiencia espectral disminuye al tener pocos usuarios por celda debido a la pequeña área de cobertura [32]. Pruebas de campo en Japón con macroceldas con mMIMO a 4.5 GHz donde se utilizó 64 antenas en la estación base que sirvieron a 23 terminales (algunos móviles) cuyo resultado reportó una eficiencia espectral de 80 bps/Hz en el enlace descendente utilizando TDD aprovechando la reciprocidad del canal, este rendimiento no es posible con la retroalimentación CSI estilo FDD [33].

En nuestro estudio hemos tomado las características más relevantes para su implementación en 5G ya que esta nueva tecnología es propiamente diseñada para soportar mMIMO, esto no ocurre en 4G [34], donde la utilización de Massive MIMO en 5G se debe al aumento crítico de antenas (alrededor de 60), la energía y eficiencia espectral del sistema aumentan muy significativamente en un entorno donde se utiliza componentes económicos de baja potencia, latencia reducida y robustez de la interferencia [35].

### 3.3.4 Selección de usuario



**Figura 3.13: Massive MIMO y Beamforming**

Basándose en el artículo 19 de Radiación no Ionizante Frecuencias Del Espectro Electromagnético Del Ecuador, el cual especifica la potencia que manejan los dispositivos inalámbricos, dependerá el incremento o decremento de antenas del mismo que se puedan generar, lo cual genera un límite en el área de cobertura en las antenas Massive MIMO y solamente para los usuarios que se encuentren cerca de la BS tendrán acceso, como se muestra en la figura 3.13. En el caso de

Small Cell, mMIMO BS deberá seleccionar los usuarios que no estén demasiado cerca de las Small Cell [36], es decir, las mMIMO tienen el control de selección para que el usuario pueda obtener la mejor calidad de la señal. Para el usuario la máxima salida de potencia que debe tener en la banda EUTRA N71 (600 a 700 MHz) es de 23 dBm con una tolerancia de  $\pm 2/-2.5$  (clase 3) [26] y lo mínimo que pueda ofrecer esta en la tabla 19 el cual se basa en los anchos de bandas.

| <b>Channel bandwidth (MHz)</b> | <b>Minimum output power (dBm)</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 5                              | -40                               |
| 10                             | -40                               |
| 15                             | -40                               |
| 20                             | -40                               |
| 25                             | -39                               |
| 40                             | -37                               |
| 50                             | -36                               |
| 60                             | -35.2                             |
| 80                             | -34                               |
| 100                            | -33                               |

**Tabla 17: Mínima potencia [26]**

Y la mínima potencia cuando la transmisión está en OFF está en la tabla 20, es decir la potencia que debe tener cuando el usuario no está transmitiendo.

| <b>Channel bandwidth (MHz)</b> | <b>Transmit OFF power (dBm)</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 5                              | -50                             |
| 10                             | -50                             |
| 15                             | -50                             |
| 20                             | -50                             |
| 25                             | -50                             |
| 40                             | -50                             |
| 50                             | -50                             |
| 60                             | -50                             |
| 80                             | -50                             |
| 100                            | -50                             |

**Tabla 18: Potencia del dispositivo sin transmitir [26]**

## **CAPITULO 4**

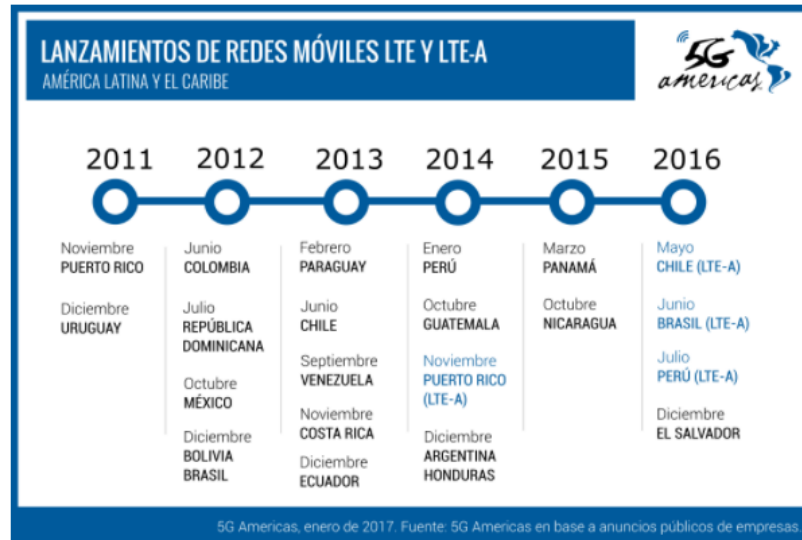
### **4 RESULTADOS ESPERADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO, ESPECTRO Y EL SISTEMA M2M, SOPORTES EN LA ARQUITECTURA 5 ECUADOR**

La decisión por parte del grupo de trabajo 3GPP de utilizar el Core E-UTRAN con ciertas modificaciones en sus elementos de red, beneficia a ciertos países de Sudamérica que para desplegar LTE tardó años. Con este primer estándar el despliegue de 5G en nuestro país tendrá múltiples beneficios, esta investigación analizó la arquitectura 5G y en este capítulo muestra los resultados esperados del despliegue de la tecnología 5G con EUTRAN con las nuevas tecnologías de acceso y un sistema M2M.

#### **4.1 ARQUITECTURA 5G CON EUTRAN**

Ecuador desplegó las primeras redes LTE en diciembre del 2013 en las ciudades de Guayaquil y Quito por medio de la operadora estatal CNT E.P., a esto se sumó CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en febrero del 2015, sin embargo, esta tecnología comenzó a desplegarse desde el 2009-2010 en países bálticos, en el gráfico 4.1 se muestra el despliegue de LTE en ciertos países de Sudamérica donde se destaca la operadora ANTEL de Uruguay, la cual desplegó la primera red 4G LTE en Sudamérica [37].

El inter-funcionamiento de 5G con E-UTRAN acelera el despliegue de esta nueva tecnología en América Latina y el Caribe, ya que en esta ocasión no se desplegará una red móvil “de la nada”, esperando que el tiempo de despliegue 5G en Ecuador se acorte significativamente [38].



**Figura 4.1: Lanzamiento de Redes Móviles LTE y LTE-A [44].**

La red de acceso 5G (NG-RAN) se desplegará inicialmente basándose en la versión NON-STANDALONE, pero esta red de acceso debe cumplir ciertas condiciones, entre las cuales esta soportar un acceso 5G en su versión STANDALONE, esto supone la re-utilización de la red de acceso y un despliegue aún más rápido de esta versión.

#### 4.2 Mejorar capacidad y cobertura con Massive MIMO Y Small Cells

Para mejorar la capacidad y cobertura es necesario enfocarse en la unión de estas dos tecnologías de acceso para 5G, es decir que un entorno rodeado totalmente de small cells o mMIMO no es eficiente, debido a que las small cells se enfocan en reducir las pérdidas de propagación, mientras que mMIMO trata de manera efectiva la interferencia por medio de multiplexación espacial de muchos usuarios [34]. El escenario ideal para small cells son las zonas donde la densidad de usuarios está en un nivel moderado o alto en comparación con la densidad del nodo transmisor (BS o AP) y el número de antenas ya que produce mejores tasas que mMIMO, mientras que mMIMO supera al sistema de small cells cuando la densidad del UE es asintóticamente pequeña [31]. Aunque la idea de utilizar muchas antenas en un arreglo mMIMO suene voluminoso en cuanto al espacio físico que ocuparían se debe tener en las frecuencias en las que operan. mMIMO reemplaza las tradicionales voluminosas antenas verticales por pequeñas antenas dipolo. En nuestro estudio seleccionamos la banda de 2.5 GHz, entonces podemos estimar el tamaño del arreglo para mMIMO tomando en cuenta una separación de media longitud de onda entre los elementos (antenas dipolos alimentadas de un extremo), siendo estas separaciones vastas para cumplir las condiciones de campo lejano si

la dimensión lineal más grande de la antena es  $\lambda/2$ . La idea de utilizar media longitud de onda en una matriz lineal es ampliamente aceptada en la literatura mMIMO [39], por lo que este resultado es válido para una implementación.

$$f = 2.5 \text{ GHz} \quad (4.1)$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

$$\lambda = C/f = 0.12 \text{ m} \quad (4.3)$$

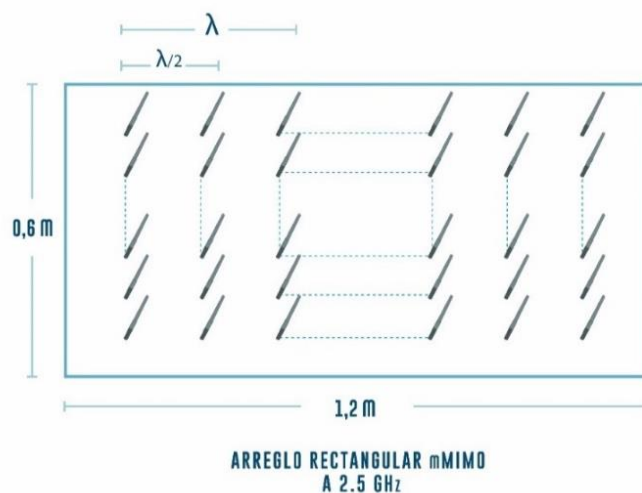
Dónde:

$\lambda$  = Longitud de onda.

$C$  = Velocidad de la luz.

$f$  = Frecuencia.

Entonces, con una separación de 0.06 metros entre los dipolos el arreglo rectangular mMIMO tiene factores agradables, esto es aproximadamente 1.6 x 0.6 metros de ancho con 200 elementos. Esta estimación se muestra en el gráfico 4.2.



**Figura 4.2: Estimación antena mMIMO a 2.5 GHz**

Además, la banda de 2.5GHz propuesta provee anchos de banda de hasta 100 MHz para una portadora de componente único (n41) dentro del primer estándar 5G. En comparación con las portadoras de 20 MHz para 4G LTE, el detalle de esta comparación se muestra en la tabla 22. Empresas como Ericsson, Nokia y Samsung trabajan conjuntamente para el despliegue de radios mMIMO (64T64R) en la banda de 2.5 GHz, programadas para 2018 [40].

| TECNOLOGÍA   | SCS    | ANCHO DE BANDA DEL CANAL |        |        |        |        |        |        |         |
|--------------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 4G LTE       | 15 kHz | 5 MHz                    | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |        |        |        |         |
| 5G (900 MHz) | 15 kHz | 5 MHz                    | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |        |        |        |         |
|              | 30 kHz | 10 MHz                   | 15 MHz | 20 MHz |        |        |        |        |         |
| 5G (700 MHz) | 15 kHz | 5 MHz                    | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |        |        |        |         |
|              | 30 kHz | 10 MHz                   | 15 MHz | 20 MHz |        |        |        |        |         |
| 5G (2.5 GHz) | 15 kHz | 10 MHz                   | 15 MHz | 20 MHz | 40 MHz | 50 MHz |        |        |         |
|              | 30 kHz | 10 MHz                   | 15 MHz | 20 MHz | 40 MHz | 50 MHz | 60 MHz | 80 MHz | 100 MHz |
|              | 60 kHz | 10 MHz                   | 15 MHz | 20 MHz | 40 MHz | 50 MHz | 60 MHz | 80 MHz | 100 MHz |

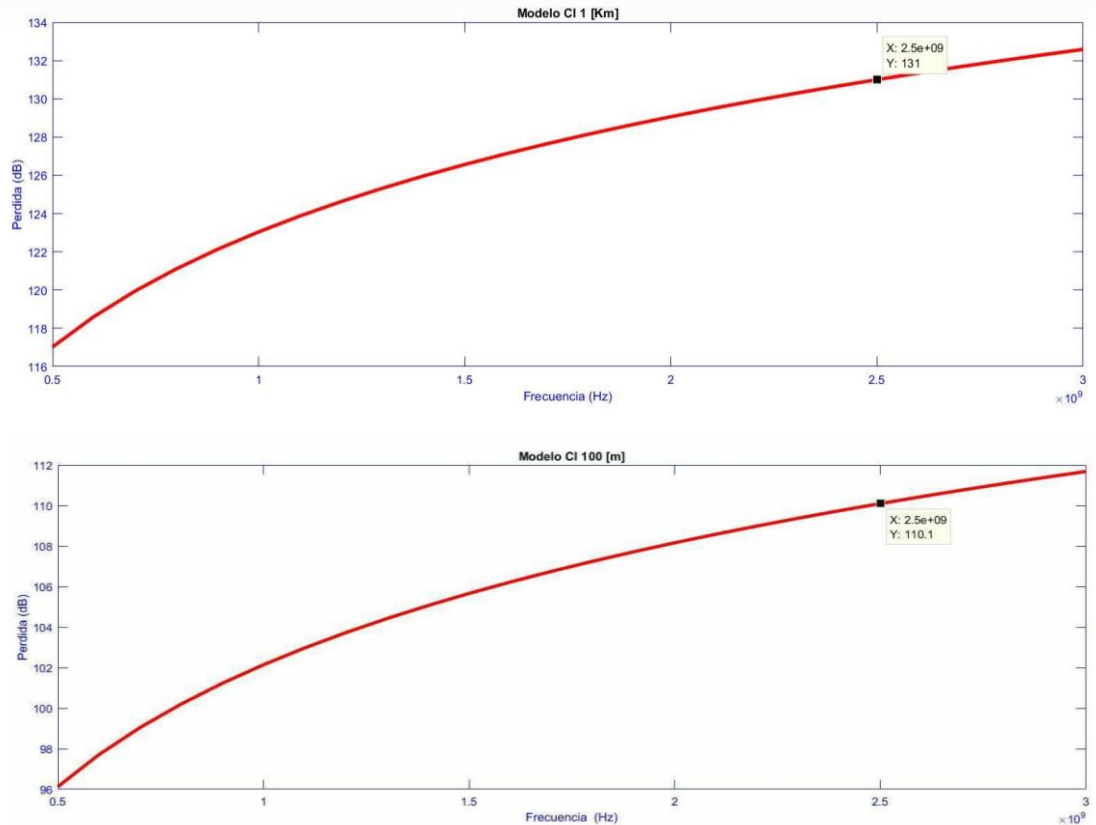
**Tabla 19: Ancho de Banda con sub-espaciamiento de portadoras.**

Donde, para los anchos de banda de canal de 60, 80 y 100 MHz en la especificación 3GPP, sólo está disponible para 30 y 60 kHz de espaciamiento entre sub-portadoras (CSC). Como resultado, esta tecnología de acceso es de gran interés por parte de las operadoras, más aún cuando 5G es propiamente diseñada para soportar esta tecnología, algo que no sucede con 4G debido a que el CSI es difícil de lograr dentro del estándar 4G [34]. Se deberá actualizar las estaciones base de radio, pero se mantendrá el mismo Core e infraestructura de backhaul, debido en parte a la utilización de la versión 5G/E-UTRAN.

### 4.3 Sistema M2M

Este sistema tiene una visión muy amplia, no sólo a nivel de usuarios puntuales sino también a modelos comerciales que son importantes para un desarrollo económico del país a través de una red inalámbrica segura y eficiente. Brindan mayor seguridad a la información al trabajar en una red dedicada para la comunicación M2M, además de cubrir vastas áreas de cobertura al trabajar con una frecuencia baja y un entorno denso de pequeñas celdas. El sistema propuesto en M2M brindará una correcta manipulación de los datos de los sensores usados para los servicios de agua y electricidad, además de una eficiente administración por parte del usuario y de la empresa que brinda el servicio. Se espera poder monitorear a través de una aplicación por medio de la nube de internet, el consumo en tiempo real de estos sensores.

La utilización del sistema M2M se realiza en paralelo a la red celular, por lo tanto, emplea la misma red de acceso y características de propagación de pequeñas celdas. Para 5G se proponen nuevos modelos de propagación que consideran micro y macro escenarios [42]. La figura 4.3 muestra la simulación en estos dos escenarios con distancias de 1 Km y 100 m respectivamente del Modelo CI.

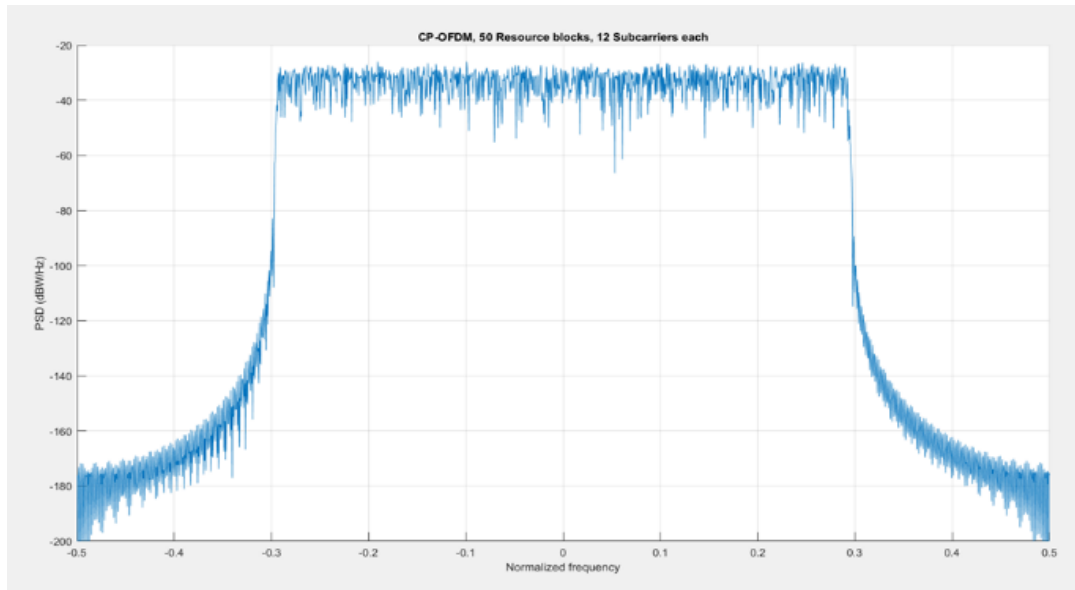


**Figura 4.3: Pérdidas de propagación con 2.5 GHz.**

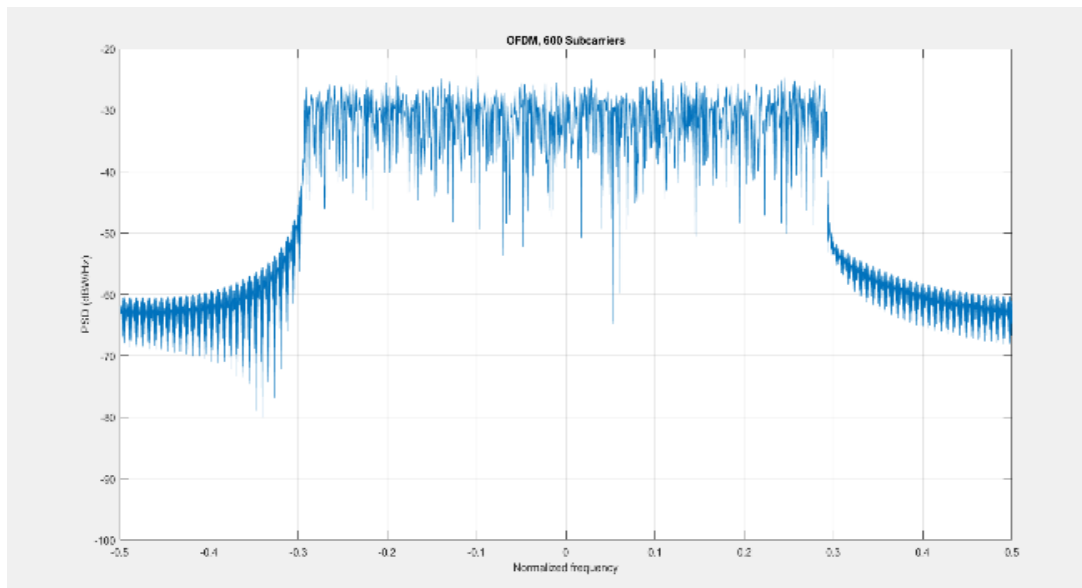
Por lo tanto, se espera que el despliegue de small cells contribuya no sólo a la red celular sino también al sistema M2M debido a las notorias pérdidas de propagación entre escenarios.

#### 4.4 Modificación del prefijo cíclico en OFDM (CP-OFDM)

A partir de varias propuestas de forma de onda descrita en el capítulo 2, 3GPP ha elegido CP-OFDM para el nuevo radio 5G (NR). La forma de onda es una pieza clave de la capa física de toda tecnología inalámbrica. En la figura (4.4A) se simula la forma de onda CP-OFDM (5G) donde se puede observar la curva que potencia respecto a la frecuencia de forma teórica. En la figura (4.4B) se simula la forma de onda OFDM (4G).



(a)



(b)

**Figura 4.4: Representación entre CP-OFDM vs OFDM.**

La elección de esta forma de onda se debe a que CP-OFDM se ubica en una posición superior en cuanto a los indicadores de rendimiento tales como, eficiencia espectral, compatibilidad con tecnologías de antenas múltiples, entre otros. Por lo tanto, la combinación de una forma de onda CP-OFDM y una técnica de acceso como mMIMO con Beamforming es la mejor opción para una alta eficiencia espectral general del Nuevo Radio 5G. La comparación teórica de algunas formas de ondas propuestas en el capítulo 2 se muestra en la figura 4.5.



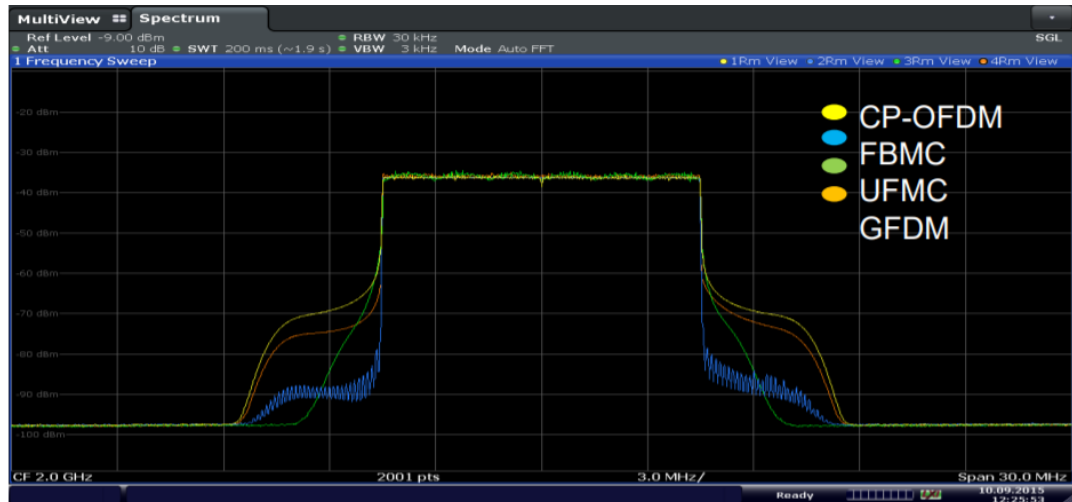


Figura 4.5: Tipos de Ondas ideales [41]

Al ponerlo estas formas de ondas bajo pruebas no lineales se obtiene la figura 4.6, Donde se demuestra la superioridad de esta forma de onda [41].

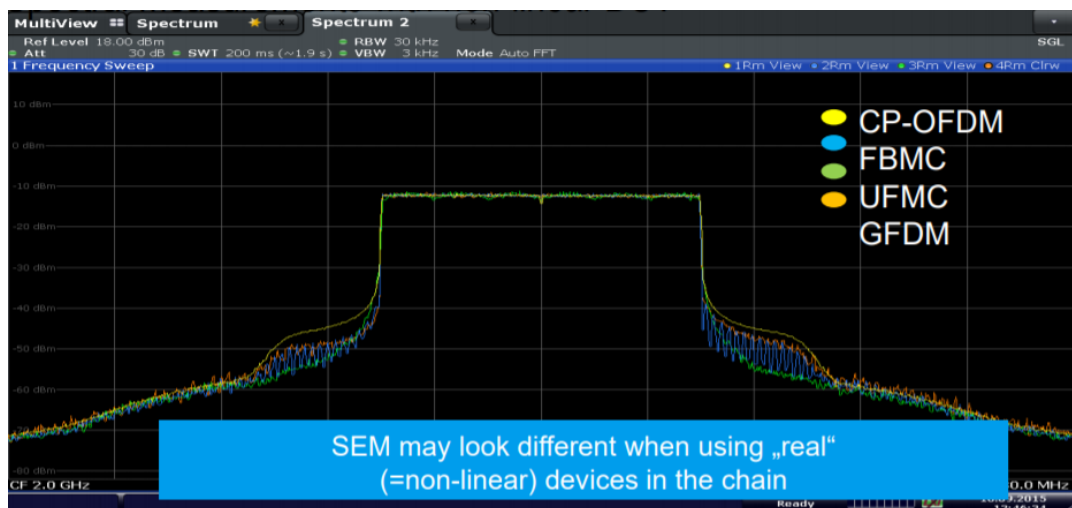


Figura 4.6: Tipos de ondas bajo pruebas no lineales [41].

#### 4.5 Ecosistema 5G en Ecuador

La figura 4.7 muestra las bases necesarias para una implementación adecuada 5G en Ecuador, para ello se logró analizar las bases técnicas y requerimientos que dan soporte a esta nueva tecnología, estas bases son las bandas de 700 MHz y 2.5 GHz principalmente, mMIMO a 2.5 GHz que presenta múltiples beneficios ya descritos en modo TDD, una separación del plano de control y plano de usuario al trabajar las pequeñas celdas con las macroceldas con una baja y alta frecuencia, sin olvidar que las pequeñas celdas es ideal para el sistema M2M propuesto. Además, la distribución adecuada del total de canales en las bandas propuestas

ayudará a obtener el mayor provecho de estos recursos por los que pagan mucho dinero las operadoras.

### Ecosistema 5G en Ecuador

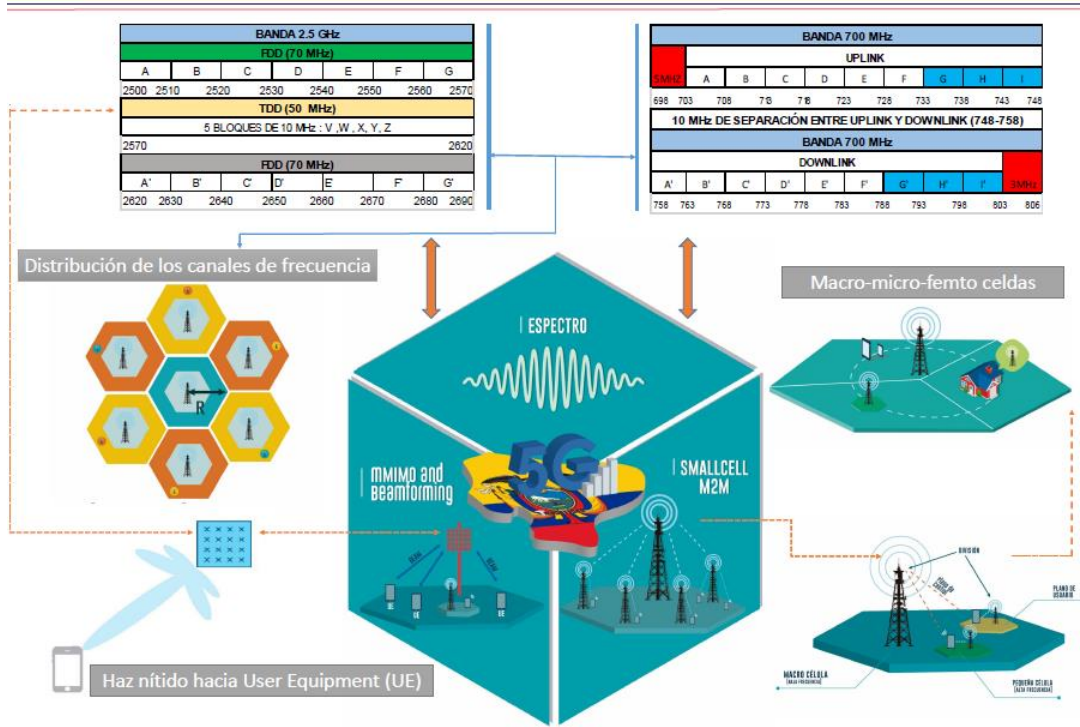


Figura 4.7: Ecosistema 5G en Ecuador.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Como resultado de nuestra investigación se logró analizar las bases necesarias en Ecuador para acelerar el despliegue de esta nueva tecnología 5G. Se consideraron las características y requerimientos más importantes de las tecnologías, aplicaciones, técnicas y espectro requeridos para su implementación eficiente en nuestro entorno. Además, el primer estándar publicado por parte de 3GPP utiliza la infraestructura 4G LTE por lo que este despliegue 5G no sólo beneficia a Ecuador sino a toda América Latina.
- Se realizó un estudio de las condiciones de las tecnologías actuales en nuestro país y se expuso las limitaciones y desventajas que tienen frente a la masiva introducción de dispositivos inteligentes y la mayor capacidad y velocidad de datos que se requerirán, justificando así la introducción de esta nueva tecnología con mejoradas características.
- Una vez analizado los recursos que dispone nuestro país se plantearon las bases para dar soporte a 5G, estas fueron, espectro, M2M, 5G con EUTRAN, mMIMO y Small Cells, donde se plantearon resultados en base a ideas propias sustentadas teóricamente.

### RECOMENDACIONES

- Ecuador debe estar pendiente de los estándares publicados por parte de 3GPP para esta nueva tecnología 5G, para así plantear nuevas ideas de manera oportuna y de esa forma estar listo para una rápida implementación de esta.
- Se debe profundizar más en temas como probabilidad estocástica, capacidad de Shannon, Procesos de punto de Poisson, entre otros. Ya que estos son puntos importantes para comprender completamente el diseño de la red de acceso 5G con una combinación de mMIMO con Small Cells y así plantear diseños en diferentes lugares del país de acuerdo a la densidad de usuarios, estaciones base y número de antenas.

## REFERENCIAS

- [1] Sebastián Angulo, «Acceso a la red 4G o LTE en Ecuador se duplicó del 2016 al 2017,» 11 Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/acceso-red-4g-tecnologia-ecuador.html>.
- [2] MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, «PLAN DE TELECOMUNICACIONES Y TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN DEL ECUADOR 2016-2021,» [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/Plan-de-Telecomunicaciones-y-TI..pdf>.
- [3] Romano Fantacci; Dania Marabissi, «Cognitive Spectrum Sharing: An Enabling Wireless,» Future Internet, p. 1, 2016.
- [4] M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena. Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 18, NO. 3, THIRD QUARTER 2016.
- [5] El Telégrafo, “Ecuador tendrá 14,2 millones de líneas 4G LTE dentro de tres años” 12 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/ecuador-tendra-14-2-millones-de-lineas-4g-lte-dentro-de-tres-anos>. [Último acceso: 21 Noviembre 2017].
- [6] Espectro 5G Posición de la GSMA sobre políticas públicas, Noviembre de 2016, [Editorial]: GSM Association, [En línea]: <https://www.gsma.com>, [Accedido: 9 Feb. 2018]
- [7] L. PAUTASIO, “La señalización 4G “hará aguas” con la simultaneidad de dispositivos IoT conectados”, TeleSemana, para. 3, noviembre 8, 2017. [En línea], Accesible: <http://www.telesemana.com>. [Accedido Feb. 9, 2018]
- [8] T. S. Rappaport, W. Roh, and K. Cheun, “Wireless engineers long considered high frequencies worthless for cellular systems. They couldn’t be more wrong,” IEEE Spectr., vol. 51, no. 9, pp. 34–58, Sep. 2014
- [9] Hyoungju Ji, Sunho Park†, Jeongho Yeo, Younsun Kim, Juho Lee and Byonghyo Shim. “Introduction to Ultra Reliable and Low Latency Communications in 5G”. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University, Korea. 7 Agosto 2017
- [10] A. Zaidi and R. Baldemair, “In the race to 5G, CP-OFDM triumphs”, ericsson.com, para. 5, 29 Mayo 2017, [En línea] Disponible: <https://www.ericsson.com/research-blog/in-race-to-5g-cp-ofdm-triumphs/> [Accedido: 9 Febrero 2018]
- [11] P. Popovski, J. J. Nielsen, C. Stefanovi, E. Carvalho, E. Strom, K. F. Trillingsgaard, A.S. Bana, D. M. Kim, R. Kotaba, J Park, R. B. Sorensen, “Wireless Access for Ultra-Reliable Low-

Latency Communication (URLLC): Principles and Building Blocks”. Dept. of Electronic Systems, Aalborg University, 9220 Aalborg, Denmark. 20 Diciembre 2017

[12] “5GNOW: Non-Orthogonal, Asynchronous Waveforms for Future Mobile Application”, IEEE Communications Magazine, Febrero, 2014, pp 98-103.

[13] A. Asadi, Q. Wang and V. Mancuso “A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks” 24 Abril 2014, pp 1-3

[14] N. K. Pratas and P. Popovski, Department of Electronic Systems, Aalborg University, Denmark, “Low-Rate Machine-Type Communication via Wireless Device-to-Device (D2D) Links” 29 Mayo 2013, pp 1-2.

[15] S. Kechiche “Analysis Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010–2020” Septiembre 2016, [En línea]: <https://www.gsma.com>, [Accedido: 14 Feb. 2018].

[16] W. Zirwas, M. Sternad, R. Apelfröjd and T. Svensson, “The role of Small Cells, Coordinated Multipoint, and Massive MIMO in 5G”, Mayo 2014, [En línea] Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/263469559>, pp 44, [Accedido: 16 Febrero 2018].

[17] Alyssa Rao, “Understanding 5G Beamforming System Architecture”, ericsson.com, 7 Julio 2016, [En línea] Disponible: <https://community.keysight.com/community/keysight-blogs/eesof-eda/blog/2016/07/07/understanding-5g-beamforming-system-architecture> [Accedido: 16 Febrero 2018].

[18] T. L. Marzetta, Bell Labs, Alcatel-Lucent, “MASSIVE MIMO: FUNDAMENTALS AND SYSTEM ISSUES”, 23 September, 2015.

[19] “5G - Waveform Candidate”, [En línea]. Available: [http://www.sharetechnote.com/html/5G/5G\\_Phy\\_Candidate\\_Overview.html](http://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_Candidate_Overview.html), [Último acceso: 18 Febrero 2018].

[20] QUALCOMM, “5G Waveform & Multiple Access Techniques”, 4 Noviembre 2015, [En línea]. Available: <https://www.qualcomm.com/documents/5g-research-waveform-and-multiple-access-techniques>, [Último acceso: 18 Febrero 2018].

[21] 3GPP, “System Architecture for the 5G System”, 3GPP, TS 23.501, 2017, [En línea]. Available: [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org), [Último acceso: 18 Febrero 2018].

[22] RCRWirelessNEws, “The role of NFV and SDN in 5G”, 4 Diciembre 2017, [En línea]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20171204/fundamentals/the-role-of-nfv-and-sdn-in-5g-tag27-tag99>, [Último acceso: 18 Febrero 2018].

- [23] 3GPP, "HetNet/Small Cells", [En línea]. Available: [www.3gpp.org/hetnet](http://www.3gpp.org/hetnet), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [24] 3GPP, "First 5G NR Specs Approved", 22 Diciembre 2017, [En línea]. Available: [www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa\\_nr\\_5g](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa_nr_5g), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [25] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, "Densidad de líneas activas y participación de mercado", Enero 2018 [En línea]. Available: [www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/](http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [26] 3GPP, "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception", 3GPP, TS 38.101, 2017, [En línea]. Available: [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [27] Gobierno Electrónico, "Soluciones comunicación móvil planes gobierno", [En línea]. Available: [www.gobiernoelectronico.gob.ec/](http://www.gobiernoelectronico.gob.ec/), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [28] Claro, "M2M", [En línea]. Available: [www.claro.com.ec](http://www.claro.com.ec), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [29] Consejo Nacional de Telecomunicaciones, "Resolucion Tel-068-04-CONATEL-2013" [En línea]. Available: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec), [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [30] J. A. Pereira, "Small Cell Deployment Evaluation on LTE" M. S. Thesis, Técnico Lisboa, Portugal, 2013.
- [31] H. D. Nguyen and S. Sun, "Massive MIMO versus small-cell systems: Spectral and energy efficiency comparison" [En línea]. Available: [ieeexplore.ieee.org/document/7511179/](http://ieeexplore.ieee.org/document/7511179/), [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [32] E. Björnson, "SIX DIFFERENCES BETWEEN MASSIVE MIMO FOR SUB-6 GHZ AND MMWAVE", 26 Septiembre 2017, [En línea]. Available: [ma-mimo.ellintech.se](http://ma-mimo.ellintech.se), [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [33] E. Larsson, "MACROCELL MASSIVE MIMO AT 4.5 GHZ: FIELD TRIALS IN JAPAN", [En línea]. Available: [ma-mimo.ellintech.se](http://ma-mimo.ellintech.se), [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [34] E. Björnson, "TEN QUESTIONS AND ANSWER ABOUT MASSIVE MIMO", 24 Noviembre 2017, [En línea]. Available: [ma-mimo.ellintech.se](http://ma-mimo.ellintech.se), [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [35] M. Zolanvari, "Emerging MIMO Technologies: Distributed, Cooperative, Massive, 3D, and Full Dimension MIMO" 17 Abril 2016, [En línea]. Available: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/mimo/index.html>, [Último acceso: 19 Febrero 2018].
- [36] G. Geraci, A. G. Rodriguez, D. L. Perez, A. Bonfante, L. G. Giordano, and H. Claussen, "Operating Massive MIMO in Unlicensed Bands for Enhanced Coexistence and Spatial

Reuse”, 27 Marzo 2017, [En línea]. Available: [ieeexplore.ieee.org/document/7887753/](http://ieeexplore.ieee.org/document/7887753/), [Último acceso: 19 Febrero 2018].

[37] Antel, “Antel: la mejor cobertura LTE de América Latina, posiciona a Uruguay entre los mejores del mundo”, [www.siicex.gub.uy](http://www.siicex.gub.uy), para. 5, [En línea] disponible: [www.siicex.gub.uy/comunicacion/comunicacion/antel-la-mejor-cobertura-lte-de-america-latina-posiciona-a-uruguay-entre-los-mejores-del-mundo/auto/33/1?es](http://www.siicex.gub.uy/comunicacion/comunicacion/antel-la-mejor-cobertura-lte-de-america-latina-posiciona-a-uruguay-entre-los-mejores-del-mundo/auto/33/1?es) [Accedido: 19 Febrero 2018]

[38] Diario Libre, «Diario Libre,» 22 Diciembre 2017. [En línea]. Available: [www.diariolibre.com/ciencia-y-tecnologia/tecnologia/aprueban-primer-estandar-5g-que-acelerara-tecnologia-redes-moviles-YG8833515](http://www.diariolibre.com/ciencia-y-tecnologia/tecnologia/aprueban-primer-estandar-5g-que-acelerara-tecnologia-redes-moviles-YG8833515). [Último acceso: 19 Febrero 2018].

[39] D. Pinchera, M. D. Migliore, F. Schettino and G. Panariello. Antenna Arrays for Line-Of-Sight Massive MIMO: Half Wavelength Is Not Enough, Electronics, VOL. 6, 10 Agosto, 2017, pp 1.

[40] Adrienne Norton, “Sprint’s 2.5 GHz Spectrum Included in Non-Standalone 3GPP 5G NR Specification”, [newsroom.sprint.com](http://newsroom.sprint.com), para. 6, 21 Diciembre 2017, [En línea] Disponible: [newsroom.sprint.com/sprints-25-ghz-spectrum-included-in-non-standalone-3gpp-5g-nr-specification.htm](http://newsroom.sprint.com/sprints-25-ghz-spectrum-included-in-non-standalone-3gpp-5g-nr-specification.htm) [Accedido: 19 Febrero 2018]

[41] R. Stuhlfauth, “The road to 5G LTE-A evolution, Internet of Things and first 5G aspects”, 2016, [En línea] Disponible: [cdn.rohde-schwarz.com](http://cdn.rohde-schwarz.com), [Accedido: 19 Febrero 2018].

[42] Shu Suna, Theodore S. Rappaport, Sundeep Rangan, Timothy A. Thomas, Amitava Ghosh, István Z. Kovács, Ignacio Rodriguez, Ozge Koymen, Andrzej Partyka, and Jan Jarvelainen, “Propagation Path Loss Models for 5G Urban Micro and Macro-Cellular Scenarios”, IEEE Communications Magazine, Julio, 2016, pp 2.

[43] Bitville, BitvilleLearning, “5G SDN and NFV”, [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=D-3wPJ4SjRA>, [Accedido: 28 Febrero 2018].

[44] Ciberespacio, “América Latina: 19 países ya cuentan con redes 4G LTE”, [En línea]. Available: <http://www.ciberespacio.com.ve/2017/01/telecom/america-latina-19-paises-ya-cuentan-con-redes-4g-lte/>, [Accedido: 28 Febrero 2018].