



Universidad Latina de Costa Rica, Campus Heredia

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019

Autor

JAVIER QUIRÓS FALLAS

HEREDIA, COSTA RICA

2019

# HOJA DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Nombres y apellidos con espacio para las firmas



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019, por el estudiante: JAVIER MARIANO QUIROS FALLAS, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones:



**ING. VIVIAN PAOLA SÁNCHEZ YOSA**

**TUTORA**



**ING. MARCELO MONTERO**

**LECTOR**



**ING. FRED CASTILLO MOYA**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

# CARTAS DEL TUTOR, LECTOR Y FILÓLOGO

Heredia, 16 de Mayo de 2016

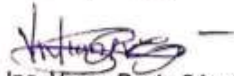
Señores  
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención  
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Tutora, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019", elaborada por el estudiante JAVIER MARIANO QUIROS FALLAS, cedula de identidad 402170146.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Lector y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular



Ing. Vivian Paola Sánchez Yosa

Tutora

Heredia, 16 de Mayo de 2019

Señores  
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención  
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Lector, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019", elaborada por el estudiante JAVIER MARIANO QUIROS FALLAS, cedula de identidad 402170146.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Tutor y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular



Ing. Marcelo Montero

Lector

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

San Jose, 11 de Mayo del 2019

Sres.

Comisión de Tesis


Universidad Latina de Costa Rica Sede Heredia

Estimados Señores,

Por este medio yo Carlos Manuel Barrantes Ramírez, mayor, casado, Filólogo incorporado al Colegio de Licenciados y Profesores, con el número de carné 16308, vecino de Moravia, portador de la cédula de identidad 103120358, hago constar:

1. Que he revisado el Proyecto de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, denominado Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019.
2. Que el Proyecto de Graduación es sustentado por el estudiante Javier Quirós Fallas.
3. Que se han hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otras del campo filológico.

En espera de mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica Sede Heredia se suscribe atentamente.



Carlos Manuel Barrantes Ramírez  
Carné No. 16308  
Filólogo

## “Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

*Instrucción:* Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Javier Mariano Quirós Fallas

De la Carrera / Programa: Licenciatura en ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): TFG

titulado:

Evaluar el posible uso de las redes 5G en el cantón Central de Heredia, Costa Rica en el primer cuatrimestre del 2019.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 19 del mes Mayo del año 2019 a las 6:33. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

JAVIER  
MARIANO  
QUIROS FALLAS  
(FIRMA)

Digitally signed by  
JAVIER MARIANO  
QUIROS FALLAS (FIRMA)  
Date: 2019.05.19  
18:34:05 -06'00'

## **HOJA DE AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez. A mi hermano gemelo Randall y a mi Mariela gracias por su apoyo y paciencia en este proyecto de estudio.

También, quiero agradecer a la Universidad Latina de Costa Rica, directivos y profesores durante esta etapa de mi vida.

## HOJA DE DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a Dios, principalmente, por darme la salud y el tiempo que necesitaba para completar este esfuerzo. A mis padres Marjorie y Verny quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos Randall, Andrea y Stephanie por su cariño y apoyo incondicional. A mi compañera de vida Mariela Arias gracias, por apoyarme durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias y seguiré luchando por un mejor futuro para nosotros. A toda mi familia, en general, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente, quiero dedicar a mis abuelitos Fernando, Flor, y Judith. Gracias por inculcar sus valores en mí y por darme la sangre de luchador que llevo por ustedes. A mi abuelito Guido, le mando un abrazo hasta el cielo, voy por más abuelito.



## EPÍGRAFE

*“El mundo cambia y sin detenerse, en el ámbito tecnológico el cambio se ve reflejado tan constantemente. ¿Cómo los servidores se vuelven obsoletos en 5 años? ¿Cómo las redes eliminan la barrera física para el acceso a la información en pocos años? ¿Cómo un software sin soporte pierde fuerza en meses? Es necesario que si todas las tecnologías cambian, nosotros también lo hagamos. Es el momento en el que no hay que detenerse y sigamos la preparación para ser esenciales en nuestros ámbitos de trabajo.”*

Javier Quirós

# ÍNDICE GENERAL

## Contenidos

ÍNDICE GENERAL .....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
Capítulo I: Introducción.....	14
PROBLEMA Y PROPÓSITO.....	14
1.1. Síntoma.....	15
1.2. Causas.....	16
1.3 Pronóstico .....	17
Fuente: SUTEL,.....	18
1.4 Control de pronóstico .....	18
1.5 Formulación del problema.....	18
1.6 Sistematización del problema .....	19
1.7 Objetivo General .....	20
1.8 Objetivos Específicos.....	20
1.9 Estado actual de la investigación .....	20
1.10. Metodología .....	23
Capítulo II: Marco teórico.....	30

2.1 Marco Situacional.....	31
2.2 Marco teórico.....	31
2.2.1 Evolución tecnológica.....	31
2.2.2 La red 5G .....	33
2.3 Hipótesis.....	57
2.4 Limitaciones .....	57
2.5 Alcances.....	57
CAPÍTULO III.....	58
Desarrollo .....	58
3.1 Desarrollo .....	59
3.1.1 Sitios y frecuencias de funcionamiento.....	59
3.1.2 Tipos de equipos.....	67
3.1.3 Trámites de las redes 5G .....	73
3.1.4 Parámetros de calidad QoS y cobertura de redes .....	75
3.2 CONCLUSIONES.....	79
3.3 RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	81
Referencias marco teórico .....	81
Referencias bibliográficas .....	83
GLOSARIO.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen del Desarrollo del Marco Metodológico.....	27
Tabla 2: Generaciones de Telecomunicaciones: .....	39
Tabla 3: Atribución de Frecuencias, según PNAF.....	59
Tabla 4: Requerimientos de Atraso en 3G/4G/5G .....	77
Tabla 5: Requerimientos de errores en pérdida de paquetes Video.....	77
Tabla 6: interpretación del uptime .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura 1</u> : Tráfico de datos en Costa Rica, (2014-2017).....	18
<u>Figura 2</u> : Red tradicional heterogénea.....	44
<u>Figura 3</u> : Sistema Beamforming .....	45
<u>Figura 4</u> : Bandas de Radiofrecuencia.....	46
<u>Figura 5</u> : Topología SDN .....	49
<u>Figura 6</u> : Plano de Usuario NgRAN .....	50
<u>Figura 7</u> : Plano de Control NgRAN.....	50
<u>Figura 8</u> : Esquema Organizacional en 5G .....	51
<u>Figura 9</u> : PNAF CR105.....	60
<u>Figura 10</u> : Mapa Heredia Centro, Costa Rica .....	61
<u>Figura 11</u> : Parámetros NYUSIM .....	63
<u>Figura 12</u> : Angulo de Salida.....	64
<u>Figura 13</u> : Angulo de Llegada .....	64
<u>Figura 14</u> : Pérdida en el espacio libre LOS .....	65
<u>Figura 15</u> : Esquema de retraso de poder Omnidireccional.....	66
<u>Figura 16</u> : Esquema de retraso de poder Direccional.....	66
<u>Figura 17</u> : Figura de Estaciones Base .....	69
<u>Figura 18</u> : Productos Samsung 5G.....	71

# **Capítulo I: Introducción**

## **PROBLEMA Y PROPÓSITO**

## 1.1. Síntoma

Como manifiesta Vargas (2 de noviembre de 2018) Costa Rica tiene un desafío en la instalación de la tecnología 5G. Requiere de reordenar frecuencias, lo que es responsabilidad de la Superintendencia General de Telecomunicaciones, pero también del apoyo que den las municipalidades en la instalación de torres. De hecho, como indica Garza (23 de enero de 2019) ya existen ciertas iniciativas por parte de la empresa Claro, diciendo que:

Esta funciona a través de fibra óptica, pero necesita de tecnología complementaria para operar con fluidez y brindar mayor cobertura celular.

Los Sistemas de Antenas Distribuidas (DAS, por sus siglas en inglés), los postes exclusivos para telefonía y las micro celdas son las tecnologías que se comenzaron a instalar para que funcione la 5G.

El Centro Comercial Oxígeno, el estadio Eladio Rosabal en Heredia, así como el Hospital Cima, ya cuentan con conexiones DAS, por citar algunos ejemplos.

Sin embargo, como se nota para estar frente a una tecnología que se va a hacer masiva dentro de poco tiempo, el tener tan pocas pruebas es preocupante, pero como se indica, en éste, también, tiene su parte lo engorroso que son los trámites, sobre todo por parte de la SUTEL. En este contexto, como se expresa la Municipalidad del cantón de Heredia tiene conciencia de la premura de implementar esta tecnología, por eso debe aprovecharse esta iniciativa con un estudio adecuado sobre cómo y dónde establecer las torres antenas, cuáles son las opciones de equipo existentes en el mercado.

## 1.2. Causas

La Universidad Internacional de Valencia (2018) indica que cada tecnología de móviles inalámbrica tiene sus estándares, cualidades y características. En el caso de la primera generación, fue desarrollada primeramente en Japón, Dinamarca, Finlandia y Suecia en la década de 1980, tenía mala comunicación y poca seguridad utilizando la modulación TDMA.

Luego la Universidad Internacional de Valencia (2018) menciona que la segunda generación de tecnología GSM “la primera en facilitar voz y datos digitales, así como roaming internacional permitiendo al cliente ir de un lugar a otro.” (párr.6) Se acude a una tecnología digital y mayor velocidad. Luego es da la 2.5G que es una variante que introduce las redes de paquete que facilitan la transferencia en Internet de datos a alta velocidad.

Posteriormente, la Tercera Generación 3G tiene como objetivo de acuerdo con la Universidad Internacional de Valencia:

... ofrecer aumento de las tasas de datos, facilitar el crecimiento, mayor capacidad de voz y datos, soporte a diversas aplicaciones y alta transmisión de datos a bajo coste. Los datos se envían a través de la tecnología de una tecnología llamada Packet Switching. Las llamadas de voz se traducen mediante conmutación de circuitos. Valencia (2018) (párr.12)

Luego se ubica la cuarta generación que se basa totalmente sobre el IP, para poder aumentar la cantidad y calidad de los datos que se transmiten. También, ayuda a mejorar la velocidad y reducir los costes de los servicios de voz y datos. Esto beneficia por realizar actividades como teleconferencias, computación en la nube y videos digitales, entre otros.

Finalmente, la Universidad Internacional de Valencia, dice que la tecnología 5G se inicia en el 2015, en un nivel experimental, con una tecnología Open Wireless Architecture (OWA). Tiene velocidad 1 a 10 Gbps y una infraestructura virtualizada. Tiene



como finalidad que los dispositivos estén conectados en cualquier momento en múltiples actividades cada vez más complejas, como lo pueden ser diagnósticos médicos, entre otros.

Si se resume la evolución de la tecnología móvil, se puede definir en un primer paso de analógico a lo digital, del reemplazo de la telefonía tradicional, llamadas de voz directas, por una serie de opciones diversas, que incluyen mensajes, fotos y videos, y la interacción en múltiples sitios. El streaming de un gran volumen de datos, a una gran velocidad con diferentes fuentes y formatos solo se va soportar en la nueva generación de redes global. La 5G puede decirse que es la culminación de todo este proceso, donde todas las cosas pueden estar enlazadas a un dispositivo.

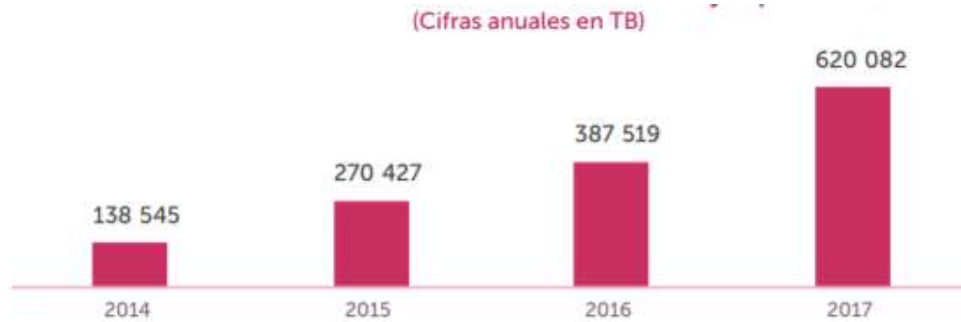
### **1.3 Pronóstico**

La principal consecuencia de no realizar las pruebas, ni valorar los equipos que se tienen que comprar en precio y marco, o hacerlo muy lento, es simplemente quedarse atrás en la adopción de la tecnología. Siendo que la tecnología 5G es mucho más rápida, pero sobre todo necesaria para la internet de las cosas, al final se tendría una pérdida de competitividad, sobre todo de compañías que quieren hacer negocios, pues querrán las mismas facilidades y opciones de otros países. Cuando no se ofrecen, el atractivo para nuevas inversiones se verá disminuido y otras que quieren venir perderán interés.

También, para los habitantes significaría privarse de servicios como tener un seguimiento médico al instante, o poder bajar un video de alta definición, esto igual afecta a profesionales en medicina (por ejemplo, una cirugía a distancia que no se puede permitir el tiempo de latencia de la tecnología 4G).

Por otro lado, el aumento en la cantidad de datos es notable, según el informe de estadísticas de la SUTEL, es un hecho que en Costa Rica se están consumiendo más datos año tras año. Tecnologías como 5G y Big Data tienen que ser parte del desarrollo y planificación del país. La siguiente imagen extraída del informe refleja un aumento del más del 60% en el tráfico de datos fijo del 2016 al 2017:

**Figura 1: Tráfico de datos en Costa Rica, (2014-2017)**



Fuente: SUTEL, Estadísticas del sector de telecomunicaciones, 2018.

#### **1.4 Control de pronóstico**

El procedimiento implica dos aspectos:

- a) La negociación y la capacitación: Puesto que las municipalidades y los habitantes pueden ser reacios a las nuevas tecnologías, sobre todo por los posibles efectos de la radiación. Aunque ésta es una tesis de Ingeniería, no se podría hacer nada sin obtener el consentimiento administrativo y una opinión pública favorables.
- b) Determinar las zonas donde se instalan las antenas: En este caso no son solo postes o semáforos, pues por sus características puede en los techos de edificios, o en azoteas, entre otros. Son lugares variados, por de acuerdo con especificaciones técnicas, las localizaciones son muy diferentes, y además, tiene que evitar interferir con la señal de la 4G, que seguirá por unos años.

#### **1.5 Formulación del problema**

Lo expuesto da lugar al siguiente problema:

¿Qué se requiere para la implementación de las redes 5G aplicado en el cantón Central de Heredia, Costa Rica para el primer cuatrimestre del 2019?

## 1.6 Sistematización del problema

El despliegue de la tecnología debe tener primero una fase de prueba y para esto se escoge el cantón Central de Heredia. Entre los retos que se afrontan están como indica Vargas (2 de noviembre de 2018):

En primer lugar, el reordenamiento del espectro radiofónico, recuperando frecuencias ociosas que permitan en funcionamiento óptimo del radio bases. En por esto que es una labor del Gobierno Central que tiene que coordinar con las compañías telefónicas.

El segundo reto está constituido por los trámites, donde dice Vargas (2 de noviembre de 2018):

Junto a este requisito, es necesario todo un proceso de simplificación de trámites que permita instalar de manera rápida los equipos necesarios para dar el mejor servicio. “Ahí será indispensable la colaboración de todos los entes gubernamentales involucrados, como los gobiernos locales”, apuntó Carlos Ríos, de Claro Costa Rica.

En otras palabras, trata de los gobiernos locales, e implica sobre todo aprobar los lugares donde deben estar las torres y radio bases. Esto se muestra delicado, pues algunos grupos tienen desconfianza de los efectos de la tecnología 5G.

Luego existen otros temas como lo es la cooperación entre varias empresas para implementar la tecnología y modificaciones a la legislación.

Teniendo estos factores en cuenta antes de que el Gobierno de la República con alguna compañía telefónica desee probar en el campo las redes 5G debe tener lo siguiente:

- Los lugares donde estarán las radio bases, postes, torres y edificios. Esto teniendo en cuenta las características de la tecnología.

- Los permisos que se requerirán. Esto es muy importante, puesto que como se indicó los trámites son largos y pueden contar con oposición. Existe, además del factor legal, otro político que se tiene que negociar con las autoridades y las comunidades que se tiene que negociar para disminuir la resistencia.
- Los tipos de equipos de redes 5G que se instalarán y las características de las torres y bases, que son fundamentales para la cobertura.
- Los parámetros de medición que se usarán para medir la calidad de la señal, lo que incluye una escala de evaluación, que toma en cuenta sobre todo la interrupción del servicio.

### **1.7 Objetivo General**

Evaluar el posible uso de las redes 5G aplicado en el cantón Central de Heredia, Costa Rica para el primer cuatrimestre del 2019.

### **1.8 Objetivos Específicos**

1. Determinar los sitios donde estarán las radio bases (postes, torres y edificios) de acuerdo con las características de las redes y frecuencias de funcionamiento.
2. Indicar los tipos de equipos que se requerirán para una calidad y cobertura adecuada de las redes 5G.
3. Indicar los trámites y el diálogo que será necesario con los gobiernos locales para que las redes 5G se pueden instalar de la forma breve posible.
4. Brindar parámetros para medir la cobertura y la calidad de las redes 5G que se desplieguen.

### **1.9 Estado actual de la investigación**

Como indica Cordero (23 de agosto de 2018) después de varios años de pruebas en zonas específicas, la tecnología 5G está entrando en la fase comercial. Costa

Rica, aunque de forma más lenta, también se está preparando para ese proceso. Cordero (23 de agosto de 2018) dice:

En Costa Rica, las autoridades están trabajando en la actualización del cronograma de liberación de bandas de frecuencias para la implementación de sistemas conocidos como IMT (International Mobile Telecommunications), según lo definido por la UIT.

Las firmas de telefonía móvil, también, podrían utilizar los recursos que tienen a disposición, que usan en redes 2G, 3G y 4G y podrían usarse para IMT, pero se requerirá combinar frecuencias bajas y altas. Muchas de éstas deben desocuparse.

Paralelamente, se deben resolver los problemas actuales para despliegue de infraestructura de telecomunicaciones.

“El Poder Ejecutivo lleva a cabo los esfuerzos para garantizar la disponibilidad de dicho recurso y permitir una evolución de los servicios”, respondió Edwin Estrada, viceministro de Telecomunicaciones. “Los principales retos que tiene el país son los relacionados a disponibilidad de espectro radioeléctrico en las bandas requeridas y a la posibilidad de despliegue de infraestructura”. (Párr.2-5)

Lo importante de lo comentado es que se demuestra, en primera instancia que la labor de la instalación de la tecnología 5G les corresponde a las tres compañías telefónicas ubicadas en Costa Rica. Pero, a su vez, se tienen que contar con el Gobierno para la combinación de frecuencias y las que deben desocuparse, y por supuesto la coordinación de infraestructura, también, requiere coordinación. Se está así ante varias dimensiones por tomar en cuenta.

Cordero (23 de agosto de 2018) indica que la adopción de la tecnología se acelerará a partir del año 2020, y que para el 2027, según datos que toma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el 54% de los dispositivos móviles serán 5G.

Es decir, se trata de una tasa de adopción acelerada, que permite una serie de actividades que inciden directamente en la calidad y la productividad de las actividades económicas de un país. Costa Rica debe adaptarse rápidamente, primero porque se convertirá en el estándar entre varios países, y las personas que hacen negocios o vienen a Costa Rica querrán tener esta experiencia. En segundo lugar, porque mejorará la calidad de las actividades, esto porque como indica Euroforum (2018) evita el colapso de la banda cuando se realizan actividades como bajar videos. En tercer lugar, porque facilita la internet de las cosas que pueden conectar varias cosas a la vez (refrigeradoras, cocheras, sistemas de seguridad).

En los negocios como dice Euroforum (2018) la ubicación dejará de ser un limitante, mejorará la comunicación y los servicios serán más productivos e integrados. Todo esto se refleja en el término competitividad, que se perderá si Costa Rica no se adapta la tecnología 5G.

Pero antes de pensar en adoptar la tecnología en nivel nacional es necesario probarla, como se ha hecho en otros países en determinadas zonas. Se piensa que el centro de Heredia es uno de esos lugares, pues, en la actualidad, tiene adecuados servicios de telecomunicaciones, lo que facilita el cambio. Además, como existen múltiples comercios y residencias, la demanda de datos es exigentes, y ahí se puede verificar si ante esto el sistema 5G no presenta fallas.

## **1.10. Metodología**

La metodología trata de la forma como se realiza la investigación, incluyendo su tipo, los sujetos, los instrumentos y el procesamiento de los datos

### **1.10.1 Tipo de Investigación**

La finalidad de este trabajo es de tipo aplicada, pues los resultados de evaluar el posible uso de las redes 5G aplicado en el cantón Central de Heredia, serán usados por el Gobierno Local en conjunto con alguna de las compañías telefónicas, para después iniciar la instalación definitiva. Además, la prueba será un ejemplo de lo que se debe hacer en otros lugares, minimizando errores y mejorando los procesos.

### **1.10.2 Alcance Investigativo**

Hernández, Fernández & Baptista (2010) se clasifican cuatro tipos de investigación:

Exploratoria: Es considerada como acercamiento científico a un problema, “Se realizan cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado.” (pág. 79)

Descriptiva: Se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una realidad, según la perspectiva del investigador; “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.” (pág. 80)

Correlacional: Es aquel tipo de estudio que persigue medir el grado de relaciones existentes entre dos o más conceptos variables; “Asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población.” (pág. 81)

Explicativa: Es aquella que tiene relación de causa; no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino encontrar su causa; “Pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian.” (pág. 83)

En el presente caso, la investigación es descriptiva, misma que, según. Hernández et al. (2010) “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.” (p.80) pues lo que se pretende es tener un panorama de los procedimientos que se tienen que dar en la instalación de la tecnología G, para reestructurarlos y diagramarlos en un sistema informático.

### **1.10.3 Enfoque**

Se escoge la investigación cuantitativa donde se recogen y analizan datos numéricos sobre variables. Manifiestan Hernández et al. (2010) que este enfoque “Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.” (p. 4)

En el presenta caso, este enfoque se usa, tanto para el análisis de una serie de datos, tales como altura, postes, ubicaciones geográficas, tipos de equipos, entre otros. También, para aplicar una serie de cuestionarios a los empleados del cantón Central de Heredia.

### **1.10.4 Población y Muestreo**

La población se refiere a una serie de elementos con una característica en común, en este caso, los sujetos de información para ayudar al uso de las redes 5G aplicado en el cantón Central de Heredia. También, al personal de la sucursal de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz de Heredia y profesionales de la Universidad Nacional a quienes se les aplicará diversos instrumentos de recolección de datos, personas con conocimientos en ingeniería y geografía y geología. Estas personas deben tener:

Es personal administrativo con conocimiento y manejo de lo que son las redes celulares. Debe de tener:

Manejo de procedimientos y aspectos técnicos del proceso



Por lo menos un año de laborar en el cantón Central de Heredia en alguna de las instituciones.

En total se calculan unas 30 personas.

La muestra se puede definir como “Subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de ésta.” (Hernández, et al, 2010, p. 173)

Se procederá a un muestreo estadístico (o probabilístico) de tipo aleatorio, como sugieren Hernández et. (2010), este tipo “implica seleccionar al azar casos o unidades de una población que sean estadísticamente representativos de ésta y cuya probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra se pueda determinar” (pág. 580). De acuerdo con Netquest (2016) un muestreo aleatorio con un margen de confianza de 95% y uno de error de 5% que para Hernández et al. (2010) se consideran los adecuados, da un número de 25 sujetos.

#### **1.10.5 Instrumentos de Recolección de Datos**

Existen diversas fuentes de obtener datos cualitativos valiosos, los documentos, materiales y artefactos, estos “Nos pueden ayudar a entender el fenómeno central de estudio. Prácticamente, la mayoría de las personas, grupos, organizaciones, comunidades y sociedades los producen y narran, o delinean sus historias y estatus actuales.” (Hernández et al. 2010, p. 433). Éstos se constituyen como se han dicho por información referente a aprovisionamiento, los tipos y las cantidades de productos comprados, los tiempos de entrega, los plazos de entrega de facturas, entre otros, que dan el panorama de la situación.

Existe otra información documental, es la relativa a mapas geográficos, vientos, ubicación de torres celulares existentes, entre otros. Se unen luego información referente a equipos 5G existente relativa a información existente en el mercado.

## Cuestionario

El cuestionario “consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” (Hernández et al. 2010, p. 217). Según enfatizan Hernández et al. (2010) los cuestionarios se constituyen por preguntas de dos tipos “cerradas y abiertas” (2010, p. 217), y tienen por finalidad en estos casos que los empleados elegidos profundicen en los datos que se consideran relevantes.

### **1.10.6 Técnicas de Análisis de Información**

Las técnicas de análisis de información toman los datos recolectados en 3.6 y les dan un sentido útil para efectos de la investigación. Para este propósito, se pueden emplear técnicas muy diversas, como:

- Diagramas de flujo de datos
- Árboles de causa efecto
- Espinas de Ishikawa
- Mapas conceptuales
- Mapas mentales.

### **1.10.7 Estrategia de desarrollo de la propuesta**

Como primer paso, se tiene que obtener la información escrita necesaria. Esto son mapas, datos de altura, recepción de las líneas de generación existente, entre otros. A esto se une la información sobre los trámites municipales que conlleva la instalación de red 5G en el cantón Central de Heredia.

Posteriormente, se hacen las citas para realizar las visitas a las personas que puedan brindar datos relevantes, como lo son los ejecutivos, personal y funcionarios. Una vez confirmada la reunión y descartadas las personas que nieguen su participación, se realiza el levantamiento de la información necesaria para la realización de las visitas de campo a los lugares elegidos, donde estarían los postes y las radio bases de la tecnología 5G.

A lo expuesto, luego se realiza una búsqueda de los equipos, consultando con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y el Instituto Nacional, verificando que sean los equipos que más se adapten. A partir de ahí, se inicia una serie de consultas sobre la receptividad de la instalación de las redes 5G por parte de las autoridades municipales, otras organizaciones y mencionadas, y se planea un informe donde se brinden los hallazgos y se resuelven las dudas y objeciones sobre el uso de la tecnología 5G (daños al organismo) y las razones para escoger los equipos y determinar los puntos geográficos para instalar las radio bases.

### 1.10.8 Procedimiento para el análisis de los datos

En el caso de los cuestionarios se procede a cerrar las preguntas abiertas, para luego agruparlas y con ellas hacer una serie de cuadros donde se expongan las similitudes y diferencias, cuando esto no sea posible, simplemente se pondrán los datos originales o un resumen de ellos

**Tabla 1: Resumen del Desarrollo del Marco Metodológico**

Objetivo	Variables	Instrumentos
1. Determinar los sitios donde estarán las radio bases (postes, torres y edificios) de acuerdo con las características de las redes y frecuencias de funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas de cobertura</li> <li>• Lluvias o temperaturas que afecten los sistemas de radio enlaces</li> <li>• Montañas o planicies presentes (Zappa. 2018)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentación</li> <li>• Cuestionarios a funcionarios</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torres existentes</li> <li>• Torres que se requieren, pero no existen</li> <li>• Frecuencias, según el reglamento de atribución a frecuencias.</li> </ul>	
<p>2. Indicar los tipos de equipos que se requerirán para una calidad y cobertura adecuada de las redes 5G.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compañía</li> <li>• Tipo de tecnología</li> <li>• Precio</li> <li>• Beneficios</li> <li>• Limitaciones</li> <li>• Disponibilidad para comprarse en un corto período</li> </ul>	<p>Documentación</p>

<p>3. Indicar los trámites y el diálogo que será necesario con los gobiernos locales para que las redes 5G se pueden instalar de la forma breve posible</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los pasos que se necesitan para ser autorizado por:</li> <li>• Los departamentos técnicos de la municipalidad (referidos a la autorización de una línea 5G)</li> <li>• El Consejo Municipal (Decisiones políticas)</li> </ul>	<p>Documentación con la planificación de los costos del proyecto.</p>
<p>4. Parámetros de calidad y cobertura de redes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad</li> <li>• Llamadas caídas</li> <li>• Intentos fallidos (Advantel, 2017)</li> </ul>	<p>De acuerdo con información de objetivos anteriores y estándares internacionales</p>

## **Capítulo II: Marco teórico**

## **2.1 Marco Situacional**

De acuerdo con el Gobierno Local de Heredia (2014), el Cantón muestra muy buena calificación en la gestión municipal, así como en el nivel competitividad económica y el bajo índice de pobreza que presenta este Cantón. En cuanto a desarrollo humano y equidad de oportunidades para mujer, también, se posiciona en lugares destacables a nivel nacional. El único punto negativo para superar son las bajas participaciones electorales.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Evolución tecnológica**

El término tecnología ha estado relacionado con las máquinas y su funcionamiento, sobre todo en la búsqueda de una perspectiva interpretativa que tendía por acudir al concepto - marco de las revoluciones industriales. De esta forma se ha hablado de sucesivas revoluciones que se apoyan en la máquina de vapor, la industria textil y la industria del hierro. Pero en las últimas dos décadas en carácter del término tecnología ha sufrido cambios sustantivos. La actual revolución tecnológica, apoyada en la informática y las telecomunicaciones adquiere una nueva línea de interpretación.

El desarrollo de las telecomunicaciones móviles ha mostrado importantes cambios en los últimos años, pasando de 2G, 3G, 4G hasta 5G, haciendo evidente el crecimiento tecnológico. En el presente artículo se presentan las características de la tecnología 5G, y posibles aplicaciones dentro del contexto educativo y su aplicación en la formación de los Ingenieros de Software. La nueva generación de redes móviles posibilita mejorar la calidad educativa, a partir del acceso y utilización de mayores herramientas que ayuden a enriquecer y transformar la educación. Actualmente, la educación en el ámbito de la Ingeniería de Software tiene su núcleo en la creación de software de calidad, promoviendo la modernización de procesos de aprendizaje y favoreciendo las necesidades actuales que se presentan en la sociedad, esta creación conlleva a la utilización

de una conexión con altas velocidades de transmisión, baja latencia y retardo, convirtiéndose así en verdaderas herramientas aprovechables por la comunidad. (Conde, 2018 p. 1)

Uno de los mayores retos del país es la creación de redes que favorezcan los intercambios sociales, económicos y tecnológicos entre las comunidades de las que forman parte las cooperativas como de las cooperativas entre sí, tal como lo señala Salas:

Aunque el país ha tenido importantes logros en materia de acceso en general, todavía enfrenta algunos retos en materia de acceso para poblaciones rurales e indígenas. Sin embargo, los retos centrales realmente están en materia de uso y apropiación de las tecnologías. Costa Rica no ha podido implementar exitosamente una estrategia nacional de Telecentros o Centros Comunitarios. Varias administraciones han intentado promover la creación de espacios de acceso y han fracasado. (p. 31)

Apropiar significa que el ciudadano puede acoger esta tecnología como algo que le es cotidiano, y que puede usar creativamente de diferentes maneras para su beneficio y el de otras personas.

Es aquí donde se llega a la creación de redes sociales, que tienen que ver con la apropiación colectiva. La red social implica un intercambio de diversos tipos financieros, de amistad, culturales, entre otros, que implican, tanto interacción como el conocimiento entre individuos.

Lo expuesto parte de una premisa expuesta desde el principio, el uso y la apropiación universal junto con la creación de redes específicas, deben desarrollarse desde la base de la innovación. Esto porque cualquier tipo de tecnología, empieza a volverse obsoleta en pocos años, y además, la idea es brindar servicios novedosos que mejoren la apropiación y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocios y democratización de las tecnologías.



En Japón, Corea, China, Estados Unidos y en los principales países europeos, instituciones públicas y privadas han organizado investigaciones y han contribuido a la normalización 5G. Para las investigaciones, pruebas y análisis que se han realizado sobre la tecnología 5G, se cuenta con la participación de diferentes actores, por una parte, fabricantes como Intel, Ericsson, Huawei, Nokia y Cisco, por otro lado, operadores de telecomunicaciones como Claro, Telefónica y AT&T y asociaciones como 5G-PPP (Infrastructure Public Private Partnership), de la que son miembro varios operadores e industriales, para lo cual a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación se citarán estas fuentes. (Puerto, 2017 p. 12)

La 5G PPP es un proyecto conjunto entre la Comisión Europea y la industria europea de las TIC (fabricantes de TIC, operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios, PYME e instituciones investigadoras). El 5G-PPP está en su tercera fase, donde se lanzaron muchos proyectos nuevos en Bruselas en junio de 2018. Este mismo proporcionará soluciones, arquitecturas, tecnologías, topologías y estándares para las infraestructuras de comunicación ubicuas de próxima generación de la próxima década.

En el caso de las telecomunicaciones, teniendo en cuentas lo corto de las vigencias de las nuevas tecnologías, y los nuevos usos que se van descubriendo y empiezan a ser de utilización masiva, la innovación es todavía más importante. De manera que puede pensarse en empresas que desarrollan nuevas formas de organización para ayudar a una comunidad, o en la aplicación de una nueva base de datos para que sea usada por los productores, logros que pueden parecer modestos, pero que tienen un gran impacto a nivel social.

### **2.2.2 La red 5G**

Desde varias décadas la tecnología encuentra un desarrollo en auge, la tecnología de comunicaciones móviles ha penetrado en muchos campos relacionados con nuestra vida cotidiana. Liderados por varias aplicaciones emergentes, los usuarios tienen

requisitos cada vez mayores para los servicios inalámbricos, lo que plantea requisitos casi rigurosos para los indicadores técnicos de la red

Actualmente, los sistemas celulares se encuentran en la cuarta generación o 4G, lo que conlleva a nuevas formas de evolución de las telecomunicaciones. 5G son las siglas utilizadas para definir la nueva generación de las redes de comunicaciones de banda ancha móvil. Sucesora del actual 4G, su principal característica es el aumento de rendimiento en transferencia de datos y de la disminución de la latencia necesaria para satisfacer casos de uso tan extremos como pueden ser la realidad aumentada, Internet de las Cosas o la conexión de billones de dispositivos. (Conde, 2018 p. 1)

Según Vargas, (2018) la 5G es la quinta generación de tecnología celular que permitirá velocidades de transferencia de 10 a 100 veces más rápidas que las que ofrecen las actuales redes 4G, con un tiempo de respuestas mucho mayor (conocido como baja latencia) y con más capacidad para acomodar a más dispositivos conectados, como aparatos para internet de las cosas (IoT, escrito de esta forma, y por sus siglas en inglés: Internet of Things). (p. 1)

El objetivo de la tecnología 5G es crear una sociedad 'hiperconectada' mediante una integración más exhaustiva e inteligente de las tecnologías LTE (en bandas con y sin licencia), WiFi y celulares para IoT, por lo menos con una nueva interfaz de radio 5G. Esto permitirá a las redes móviles asignar los recursos en forma dinámica, de modo tal que puedan cubrir las necesidades en constante evolución de un muy diverso conjunto de conexiones, que van desde maquinaria industrial en fábricas hasta vehículos automatizados, así como también, teléfonos inteligentes o smartphones. Un mayor ancho de banda de red de transmisión o backhaul, será esencial para soportar la gran capacidad adicional que la red de radio requerirá, incluidas las de microondas y de fibra. Las redes satelitales, también, podrían ser consideradas para el backhaul de 5G, siempre que se tenga en cuenta la dificultad que tienen dichas redes para satisfacer los requerimientos

de ancho de banda y latencia que se esperan de la tecnología 5G. (GSMA, 2016 p. 2)

La red inalámbrica de la próxima (quinta) generación va a abordar la evolución más allá del internet móvil y va a alcanzar el IoT (Internet de las Cosas) masivo para comienzos de 2020. La principal evolución en comparación con 4G y 4.5G (LTE avanzado), actualmente, es que más allá de las mejoras en la velocidad de los datos, los nuevos casos de uso del IoT y de comunicación crítica van a requerir nuevos tipos de rendimiento mejorado. Por ejemplo, la "baja latencia" es lo que provee interactividad en tiempo real para los servicios que utilizan la nube: esto es clave para el éxito de los vehículos autónomos, por ejemplo. Además, el bajo consumo de energía es el factor que va a permitir que los objetos conectados funcionen por meses o años, sin la necesidad de ayuda humana.

Se espera que las redes 5G apoyen escenarios de alta movilidad (trenes de alta velocidad, aviones, entre otros), así como escenarios con baja o nula movilidad para terminales de acceso; por ello, la tecnología debe estar en capacidad de hacer frente a situaciones extremas proporcionando movilidad bajo demanda, basado en necesidades únicas de servicios de cada dispositivo y capacidades. Al mismo tiempo dispositivos de comunicación tipo máquina pueden requerir el acceso nómada a la red, con el propósito de enviar cantidades reducidas de datos, en su mayoría en ubicaciones estáticas. (Puerto, 2017 p. 19)

Dentro de las implicaciones para los operadores móviles se encuentran:

La tecnología 5G es una tecnología de banda ancha celular y una red de redes. La experiencia y el conocimiento de los operadores de redes móviles en la construcción y en la operación de redes van a ser clave para el éxito de la tecnología 5G. Más allá de proporcionar servicios de red, los operadores de redes móviles podrán desarrollar y operar nuevos servicios del IoT. La implementación de las redes 5G, a la vez, que se mantienen operativas las redes 3G y 4G, probablemente den lugar a un nuevo desafío para los operadores de redes móviles con respecto de la capacidad de las frecuencias en el espectro (sobre

todo si se produce el enorme volumen previsto en el IoT). Los operadores de redes móviles tendrán que requerir operar un nuevo espectro en el rango de 6 a 300 GHz, que implica inversiones masivas en la infraestructura de la red. Para alcanzar el objetivo de latencia de 1ms, las redes 5G requieren que la conectividad para la estación base use fibras ópticas. (Gemailto, sf p. 5)

### **2.2.1.1 Beneficios del 5G**

Como señala López (26 de julio de 2018), el sistema móvil de acceso a Internet 5G multiplicará la velocidad, con una cobertura casi ubicua y una velocidad de respuesta (latencia) que es casi inmediata, lo que permitirá que se use en infinidad de actividades y procesos. No obstante, su instalación tiene una serie de dificultades, López (26 de julio de 2018) indica:

Y es que la llegada del 5G exigirá que el número de antenas de telefonía móvil instaladas se multiplique, fácilmente por 20 veces para poder absorber el incremento de tráfico y el número de dispositivos conectados, cuya densidad puede multiplicarse por 100 veces respecto del estándar actual hasta alcanzar el millón de dispositivos (móviles, tabletas, TV inteligentes, relojes, contadores, frigoríficos, lavadoras, automóviles, plazas de parking, cubos de basura, papeleras, etc, etc, etc) por kilómetro cuadrado.

De forma que, si un operador de los grandes tiene alrededor de 20.000 nodos, debería pasar a 400.000 ó 500.000 para cumplir todas las promesas que el 5G está generando -quizá de forma un poco irresponsable-, entre la población.

Además, para que el 5G funcione bien, es necesario conectar la radio (las antenas) a la red troncal mediante fibra óptica, para que esa transmisión no sea un cuello de botella. Pero la fibra se conecta a los hogares, oficinas o locales. Su despliegue actual no está diseñado para conectarse a marquesinas o farolas, por lo que será necesario hacer ampliaciones específicas de los accesos de fibra a todos estos equipamientos urbanos. Y no sólo fibra óptica, sino también, alimentación eléctrica y, desde luego, protección anti vandálica. Por último, todas

estas antenas, deberán ser reparadas o experimentar un mantenimiento preventivo, y eso incluirá un protocolo complejo - hay que vallar el acceso a la marquesina mientras trabaja el operario y eso requiere un permiso municipal- y sobre todo muy caro. (Párr.14-16)

Todo esto conlleva a decir que se requieren muchas más torres, lo que, por supuesto implica buscar muchos puntos de instalación, y de acuerdo con esto, por un lado, aumenta la inversión que tienen que realizar las empresas, pero también, el número de permisos que se deben obtener. En esta situación, se tiene que negociar, tanto con los gobiernos locales el uso de muchos espacios públicos, y con la empresa privada una serie de arrendamiento. Se requiere todo un equipo de personas para hacer esto.

- Las redes 5G expanden los servicios inalámbricos de banda ancha más allá de Internet móvil al IoT y a segmentos de comunicaciones críticas Las redes 4.5G (LTE advanced) duplican la velocidad de los datos de la tecnología 4G
- Las redes 4G trajeron los servicios Todo-IP (voz y datos), una experiencia de Internet de banda ancha rápida, con arquitecturas de redes y protocolos unificados
- Las redes 3.5G trajeron una experiencia de Internet móvil verdaderamente ubicua, lo que desencadenó el éxito del ecosistema de las aplicaciones móviles
- Las redes 3G trajeron una mejor experiencia de Internet móvil, pero con un éxito limitado para desencadenar la adopción masiva de los servicios de datos
- Las redes 2.5G trajeron una leve mejora a los servicios de datos con la tecnología Edge
- Las redes 2G trajeron servicios de voz celular digital y servicios de datos básicos (SMS, GPRS), así como servicios de roaming a través de las redes
- La generación 1G trajeron movilidad a los servicios de voz analógica (Gemalto, sf p. 7)

Además de ser mucho más caro que la tecnología 5G, tantas antenas pueden crear oposición de grupos de ciudadanos que pueden pensar que es nocivo para la salud.

Sin embargo, la inversión que requiere la tecnología 5G se asume por los beneficios que se calcula percibir por parte de las grandes empresas de telecomunicaciones. Sobre esto López (26 de julio de 2018) comenta:

Una de las consecuencias que va a provocar la llegada del 5G, es una probable nueva edad de oro de los operadores de telecomunicaciones móviles, que tejerán una red de complicidades más intensas que nunca con los grandes y medianos clientes, tanto corporativos como de las administraciones públicas.

La razón de este cambio estratégico en las relaciones operador-cliente están basadas en lo que se podría resumir como "la consecuencia de la latencia". Y es que, en las redes de telecomunicaciones, una cosa es la velocidad de transmisión, es decir, cuan ancha es la tubería por la que circula la información y cuánta cantidad de información es capaz de circular a la vez, que se mide en megabits por segundo - y dentro de poco en gigabits por segundo- y otra cosa es la velocidad de respuesta de la red a una acción nuestra, que es lo que se llama latencia, retardo o ping y se mide en milisegundos (ms). (párr.19-20)

Para López (26 de julio de 2018) el gran atractivo de la tecnología 5G es que permite conectar todo a la vez, con un tiempo ínfimo de latencia. Lo expuesto permitirá aplicaciones nuevas y explorar nuevos nichos de negocios.

La tecnología 5G va a ser capaz de soportar todas las necesidades de comunicación entre una red de área local (LAN) de baja potencia, como una red doméstica, y una red de área amplia (WAN), con los ajustes de latencia/velocidad adecuados. La forma como se hace frente a esta necesidad, actualmente, es mediante la agregación de una amplia variedad de redes de comunicación (WiFi, Z-Wave, LoRa, 3G, 4G, etc.).

La red 5G está diseñada para permitir configuraciones de redes virtuales simples para alinear mejor los costos de la red con las necesidades de las

aplicaciones. Este nuevo enfoque va a permitir que los operadores de la red móvil 5G capturen una cuota más grande del mercado IoT, ya que serán capaces de ofrecer soluciones rentables para aplicaciones de bajo ancho de banda y de baja potencia. (Gemalto, sf p. 4)

A continuación, se presenta una tabla 2, elaborada por Conte (2018):

**Tabla 2: Generaciones de Telecomunicaciones:**

<b>Generación</b>	<b>Características</b>	<b>Limitaciones</b>
1G	<p>Orientados estrictamente a la transmisión con modulación de voz entre las antenas y sistemas digitales en las radio bases.</p> <p>Permite encriptación de datos.</p> <p>Velocidad – 1kbps a 2,4 kbps.</p> <p>Gran capacidad de usuarios.</p> <p>Amplia cobertura.</p>	<p>Deficientes a la hora de conectar con el usuario final. Pérdida de señal de al estar en movimiento y atravesar límites de cobertura de antenas.</p> <p>Comunicaciones de voz y ninguna seguridad.</p>
2G	<p>La 2G arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital.</p>	<p>Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades más altas para voz,</p>

	<p>Velocidad – 1kbps a 64 kbps.</p> <p>Permite navegación WAP, envío de SMS y servicios IPv4 (Internet).</p> <p>Tecnología de transmisión de datos: GPRS, EDGE</p> <p>Mayor calidad de voz.</p> <p>Mayor nivel de seguridad.</p> <p>Itinerancia de seguridad.</p>	<p>pero limitados en comunicación de datos.</p>
<p>3G</p>	<p>En una red 3G es posible transmitir voz y datos simultáneamente.</p> <p>Permite Internet, tv móvil y video llamadas.</p> <p>Alcanza velocidades de transmisión de datos hasta 2 Mb/s.</p> <p>Tecnología de transmisión de datos: W-CDMA, HSDPA</p>	<p>El sistema va disminuyendo la potencia de emisión, o lo que es lo mismo, va reduciendo el alcance de cobertura de la celda.</p>



<p>4G</p>	<p>Telefonía móvil que permite a los usuarios, entre otras cosas, acceder a servicios de voz por IP (Internet Protocol), recibir y compartir datos multimedia de alta definición.</p> <p>Soporte de QoS.</p>	<p>Presenta latencia en la transmisión de datos de gran tamaño.</p>
-----------	--	---

Fuente: Conte, 2018 p. 2

**2.2.2.2 Componentes**

Salamanca y González (2016) manifiestan que la tecnología 5G se sostiene sobre una serie de pilares, entre las que destacan cuatro componentes. La primera como se ha indicado es la transmisión multi-antena, donde los autores citados indican: La transmisión de múltiples antenas ya desempeña un papel importante para las generaciones actuales de comunicaciones móviles y jugará un rol aún más importante en la era 5G. Especialmente, para operar a frecuencias más altas, el uso de múltiples antenas para formación de haz en el transmisor y/o sitio receptor es un componente crítico para contrarrestar las peores condiciones de propagación a frecuencias más altas. Sin embargo, la formación de haz, también, será un componente importante para frecuencias más bajas; por ejemplo, para extender aún más la cobertura y proporcionar las tasas de datos más altas en las implementaciones de esta tecnología. En otras palabras, la transmisión de múltiples antenas o nodos, servirán como base sólida con el objetivo de aumentar el volumen de los datos 1000 veces en comparación a los actuales, así como el número de dispositivos conectados en las redes. (p.33)

En otras palabras, para que realmente se puede alcanzar la velocidad de la cinco 5, que tienen frecuencias altas es tener antenas, y cada una tiene que tener en cuenta

los dispositivos que están cercanos, una carretera, un estadio, o un edificio de apartamento, entre otros.

Salamanca y González (2016), también, dicen que se tiene que tener un diseño ultra delgado para tener eficiencia en las redes de acceso inalámbrico, con el fin de minimizar cualquier transmisión que no se relaciona con la entrega de datos a los usuarios. Es especialmente importante en despliegues densos con grandes nodos y condiciones de tránsito variables.

Los autores expresan:

Al permitir que los nodos de la red entren rápidamente en estados de baja energía cuando no hay transmisión de datos de usuario, el diseño ultra-delgado es un componente importante para el rendimiento de alta energía a la red, de igual manera, permitirá velocidades de datos más altas alcanzables mediante la reducción de la interferencia de las transmisiones no relacionadas con los datos de usuario. (p.34)

Otro principio es el de acceso y control que desacopla los datos del usuario y el sistema funcional del control. Lo último involucra la información, y los diversos procedimientos que se requieren para el acceso al sistema del dispositivo. Señalan Salamanca y González (2016) que:

Un desacoplamiento permitirá una mejor escalabilidad, por ejemplo, los datos de usuario pueden ser entregados por una densa capa de nodos de acceso, mientras la información del sistema solo se proporciona a través de una macro capa superpuesta, en la que inicialmente un dispositivo accede al sistema. Un diseño ultra-delgado combinado con la separación de acceso y control proporciona una mayor flexibilidad en términos de evolución de la RAT (Tecnología de Radio Acceso), ya que, con esta separación, el plano de usuario puede evolucionar mientras se mantiene el control funcional del sistema. (p.34)

Como se indica en la cita el principio de acceso y control usado permite la escalabilidad, pero junto con el diseño ultra delgado aumenta la flexibilidad. A esto se

pueden agregar otros componentes que Puerto (2017) cree que se pueden destacar. Entre ellos:

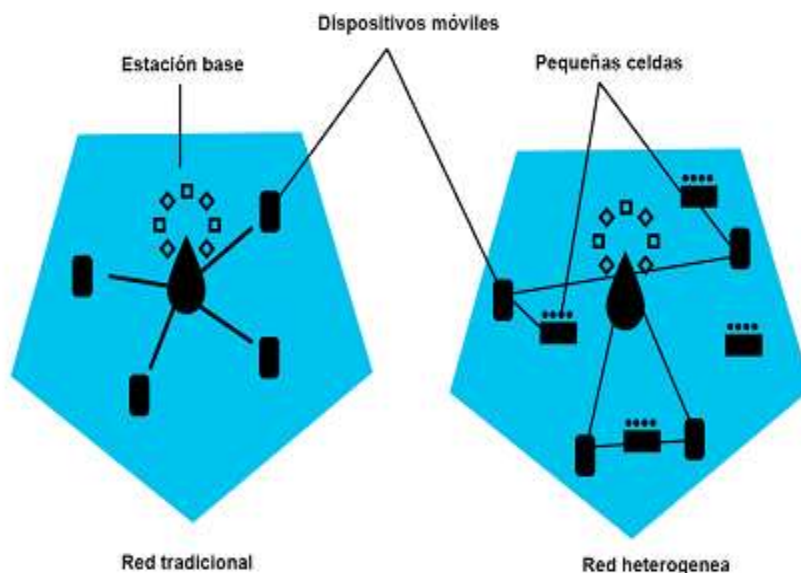
Las tecnologías MIMO masivas en las formas como se manejan las ondas de transmisión y las antenas. Esto como expresa Puerto expresa un cambio en la conformación de la red:

Tradicionalmente, una red móvil celular se conforma de una BS que sirve a un amplio número de abonados, contralados por una BSC, así como una serie de equipos que componen la red, como la MSC, el HLR, el SGSN, el PDN, el VLR, el Backbone GPRS, entre otros, los dispositivos cambian de acuerdo con la generación. Con el fin de disponer de una plataforma eficiente que soporte las aplicaciones, es necesario un cambio en el diseño del sistema, virtualizando las funcionalidades de la red e implementando servidores MEC, beneficiando el cálculo de distribución y el almacenamiento, buscando optimizar estrategias de comunicación.

Sin embargo, la arquitectura moderna de redes móviles está comenzando a evolucionar ..., donde actúan pequeñas células que se convierten en minúsculas estaciones base, como consecuencia de esto las redes para 5G serán redes heterogéneas conocidas como "Hetnets", donde a las estaciones base se les aumentará el número de celdas como las (Femto celdas y Pico celdas), estas pequeñas celdas son estaciones base miniaturas que utilizarán para mejorar la cobertura en ambientes complicados y para incrementar la capacidad de datos en la red. A largo plazo las redes tendrán un incremento en el número de celdas y adicional a esto mejorarán los radios Wifi conocidos como "carrier-grade". A lo largo de las nuevas investigaciones de los fabricantes de la industria, la evolución en la topología de redes ya está ocurriendo, en la nueva generación los ingenieros pueden considerar tecnologías que una vez parecieron imprácticas para las comunicaciones móviles, como lo es reducir de tamaño a las celdas ofrecidas por las celdas pequeñas, con esta práctica se logra considerar rangos de altas frecuencias que una vez se concluyó no serían viables debido a las preocupaciones acerca de la instancia de propagación de la señal. (p.25)

De lo que comenta Puerto (2017) queda claro que la generación 5G cambia la distribución del sistema, así como la distribución y el almacenamiento, y por lo tanto, el resultado es que se tienen múltiples celdas con estaciones base, todo como se ha dicho por las altas frecuencias que utiliza la tecnología.

**Figura 2: Red tradicional heterogénea**



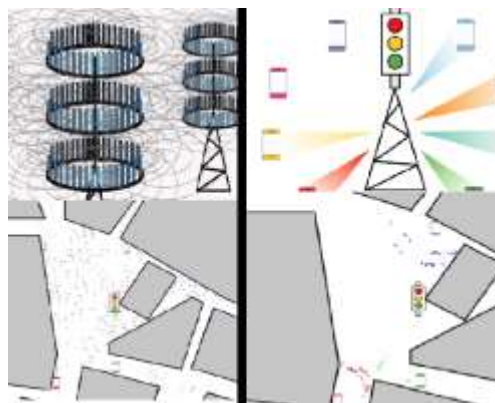
Fuente: Puentes. (2017). p.25.

Otro aspecto importante es que las antenas de las generaciones anteriores irradiaban la señal hacia los usuarios de manera omnidireccional, las nuevas redes 5G planean optimizar el espectro usando la tecnología beamforming. Esta tecnología permite aprovechar el espectro electromagnético con conexiones directas hacia los dispositivos 5G y así liberar el aire como medio de transmisión. El beamforming revoluciona la forma de transmitir y recibir los datos identificando la conexión directa más eficiente, lo cual evita el choque y pérdida de paquetes en las redes.

De acuerdo con Nordrum y Clark (2017) el principal desafío para las antenas MIMO es reducir la interferencia en el momento cuando se transmite mucha información desde muchas antenas a la vez. En las estaciones base MIMO, los algoritmos de

procesamiento de señales trazan la mejor ruta de transmisión a través del aire para cada usuario. Luego, pueden enviar paquetes de datos individuales en muchas direcciones diferentes, rebotándolos de edificios y otros objetos en un patrón coordinado con precisión. Al identificar los movimientos de los paquetes y el tiempo de llegada, beamforming permite que muchos usuarios y antenas en una matriz MIMO intercambien mucha más información a la vez. Las redes 5G llegan a modificar el espectro de transferencia y a fomentar una eficiencia que repercute en menos latencia, menos gasto de energía, pero con alta calidad de transmisión de las antenas. Para demostrar la comparación de los sistemas anteriores versus un sistema beamforming, se hace referencia a la siguiente imagen:

**Figura 3: Sistema Beamforming**



Fuente: Nordrum y Clark. (2017)

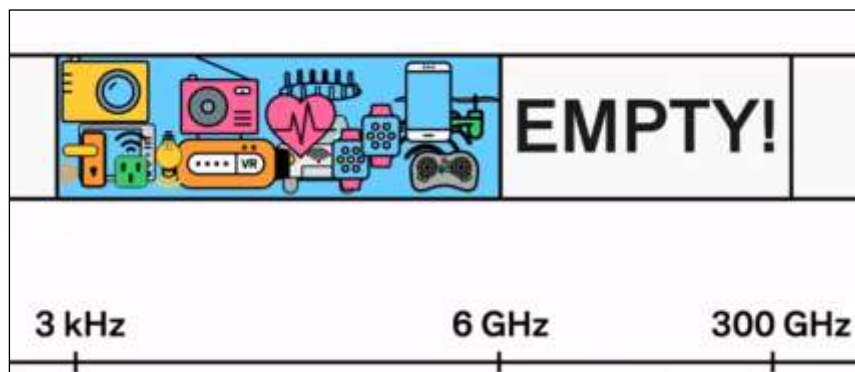
Nordrum y Clark (2017), también, mencionan la importancia que tiene beamforming en combinación las Ondas de milimétricas, estas ondas de alta frecuencia y poca distancia son parte primordial de las redes 5G:

Para las ondas milimétricas, beamforming se utiliza para brindar un conjunto de soluciones: las señales celulares son fácilmente bloqueadas por objetos y tienden a debilitarse en largas distancias. En este caso, la formación de haz puede ayudar al enfocar una señal en una señal concentrada que apunta solo en la dirección de un usuario, en lugar de transmitir en muchas direcciones a la vez. Este enfoque puede

fortalecer las posibilidades de que la señal llegue intacta y reducir la interferencia para todos los demás.

Las ondas milimétricas es la solución para la saturación del espectro radiofónico de las redes 5G. Para tener una idea de cómo se ha utilizado las bandas de radiofrecuencia, se hace referencia a la siguiente imagen:

**Figura 4: Bandas de Radiofrecuencia**



Fuente: Nordrum y Clark. (2017)

En las anteriores generaciones pensar en altas frecuencias era una locura por las distancias cortas y las dificultades de atravesar objetos; sin embargo la sobreutilización de las generaciones anteriores de las bandas de menos de 6GHz dan como única opción las redes de milimétricas. Según Nordrum y Clark (2017) las ondas milimétricas se emitirán en frecuencias entre 30 y 300 giga Hertz, en comparación con las bandas por debajo de 6 GHz que se utilizaron para dispositivos móviles en el pasado. Por otro lado, mencionan que se les llama ondas milimétricas porque varían en longitud de 1 a 10 mm, en comparación con las ondas de radio que sirven a los teléfonos inteligentes, actualmente, que miden decenas de centímetros de longitud.

Las dos frecuencias milimétricas que se recomiendan para las redes 5G son las de 28GHz y 73GHz, según mencionan Samimi y Rappaport:

Las bandas de frecuencia de 28 GHz y 73GHz para comunicaciones al aire libre son atractivas, ya que la pérdida de atenuación inducida por la absorción atmosférica es menor (mucho menos que 0,1 dB) en un radio de celda de onda milimétrica de 200 metros, mientras que es significativamente mayor a 60 GHz (~4 dB / 200 m). (2016)

También, Puerto (2017) explica que las redes 5G soportan ambientes heterogéneos en lo que a tecnología de acceso se refiere. Igualmente, debe modificarse la numerología en lo referente a las variantes de interfaz área, el trabajo en LTE-A, así como en el soporte de las diferentes divisiones en ambientes C-RAN o D-RAN (arquitectura para nuevas redes celulares, que se caracteriza por ser centralizada y basa en la computación en la nube en el acceso de radio). De forma paralela se requieren mejoras en la arquitectura existente de las fijas y móviles. Redes fijas y móviles deberán tener mejoras en las arquitecturas existentes.

Al buscar una alternativa en la cual se utilicen ambientes C-RAN entra en juego las SDN que son parte esencial para el desarrollo de la tecnología 5G. Estas se caracterizan por tener el manejo de múltiples dispositivos en un solo plano de control y administración. Es decir, en vez de tener una configuración de cada dispositivo, se hace una sola configuración por medio de software que unifica todos los equipos de proveedores.

OpenAirInterface explica la diferencia que implica el tener dos capas lógicas comparando con los modelos más utilizados actualmente. En un dispositivo de red tradicional, como un router o switch, contiene, tanto el plano de control como el plano de datos. El plano de control determina la ruta que tomará el tráfico a través de la red, mientras que el plano de datos es la parte de la red que realmente transporta el tráfico. Al separar el plano de control y el plano de datos, el equipo de red se puede configurar externamente a través de un software de administración independiente del proveedor y tiene el potencial de transformar la red de un sistema cerrado a un sistema abierto. (2019)

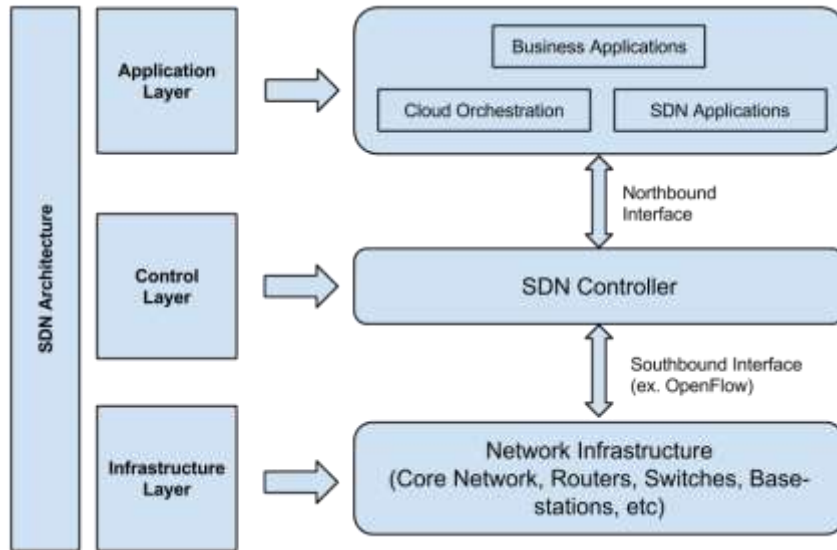
Se puede decir que desde un modelo SDN, la cantidad de ingenieros en redes que se dedican a la configuración y administración estará en decremento. Cuando ocurra un problema en algún nodo o middleware, no se necesitará ingresar, directamente, al dispositivo para arreglar a la configuración. Sin embargo, el desafío de material humano de estas redes será en cuanto a los conocimientos combinados entre software y redes. El personal necesario para las redes SDN tendrá que tener nuevos conocimientos en programación, específicamente, en el lenguaje de Python.

La centralización de las redes SDN hacen que la seguridad sea inmejorable, el hecho de tener un solo un punto de control hace que se establezca un perímetro de seguridad para un solo dispositivo. Muchos tienen opiniones divididas al tener un solo punto de control, esto porque consideran que tener un solo punto centralizado hace que los delincuentes informáticos o black hackers tengan un solo punto de ataque. Lo cierto es que la criptografía (RSA, SHA256, SHA512), la estandarización de seguridad y firewalls dan la confianza necesaria para tener una configuración confiable en cada proveedor de servicios.

Al utilizar frecuencias tan altas se debe utilizar una distancia corta entre los dispositivos y es ahí donde la administración o configuración se hace casi imposible. OpenAirInterface menciona dos capas lógicas y una capa de infraestructura en la arquitectura de las redes SDN. La capa de aplicación aloja las aplicaciones SDN y se comunica con el controlador habilitado para SDN a través de la interfaz de programación de aplicaciones (API). Las aplicaciones SDN pueden ser aplicaciones de red, organización en la nube o aplicaciones empresariales. La capa de control desacopla el plano de control del plano de datos. El controlador SDN elabora y brinda un mapa lógico de la red para una toma de decisiones eficiente. Por último, la capa de infraestructura se conoce como el hardware de red real (red central, estaciones base, conmutadores, enrutadores, etc.) que implementa rutas de datos SDN y reenvía el tráfico real. (2019)



**Figura 5: Topología SDN**



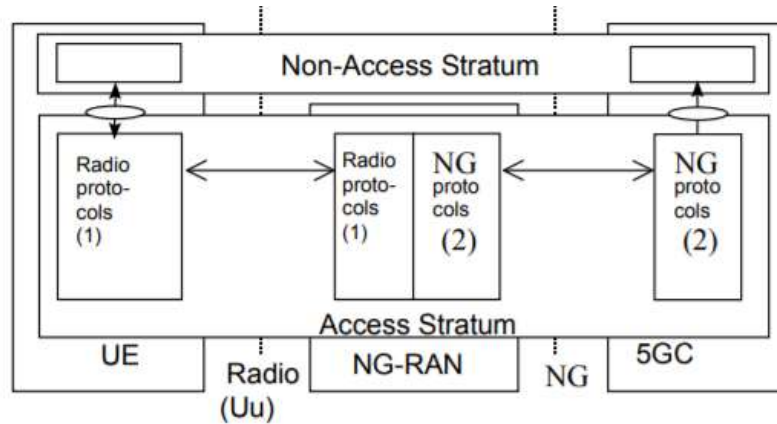
Fuente: OpenAirInterface. (2019)

Otra característica que ayudará en la parte de administración en conjunto con las SDN son las NFV (Network Functions Virtualization). Esta tecnología se utiliza para virtualizar topologías de nodos en hardware complejas, en distintos bloques de código que crean un servicio de comunicación. Estos bloques de código se pueden aplicar como bloques de lego para tener una topología ordenada, flexible y eficiente.

Por otro lado, 3GPP propone cambiar a un modelo NG-RAN, esta arquitectura caracteriza por tener muchos nodos gNBs conectados a las redes internas denominadas 5GC. De acuerdo con ITSI la nueva arquitectura va a tener dos subgrupos que son el plano de Usuario y el plano de control. ITSI menciona:

En el plano de usuario se ejecutan protocolos que implementan el servicio de sesión PDU real, es decir, que transportan datos del usuario a través del estrato de acceso.

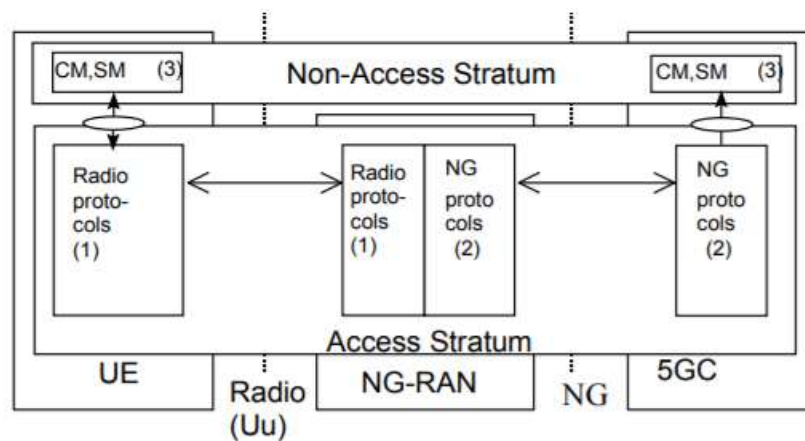
**Figura 6: Plano de Usuario NgRAN**



Fuente: ITSI. (2018). p.9.

En cuanto a control plane ITSI menciona que son los protocolos para controlar las Sesiones de PDU y la conexión entre el UE y la red. Desde diferentes aspectos (incluida la solicitud del servicio, el control de diferentes recursos de transmisión, el traspaso, etc.). Además, se incluye un mecanismo para la transferencia transparente de mensajes NAS. (ITSI, 2018 p. 8)

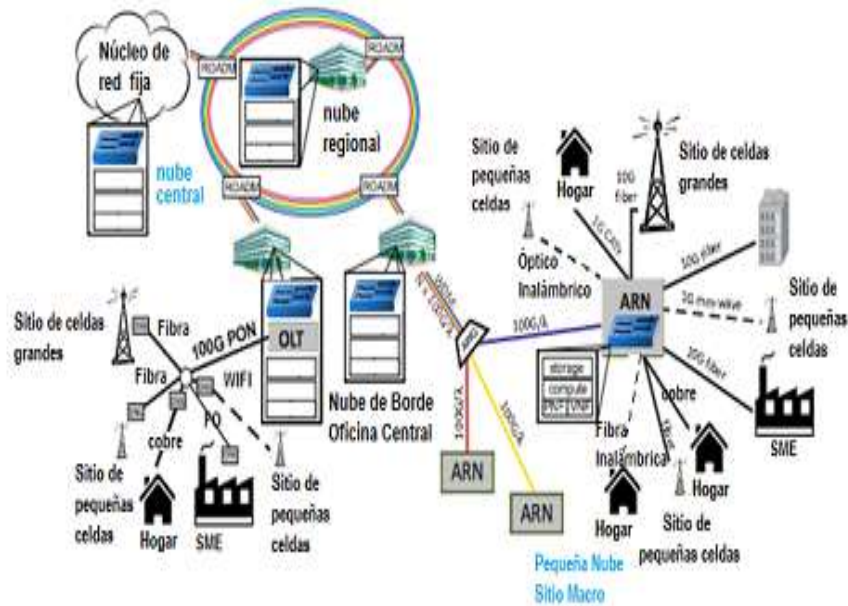
**Figura 7: Plano de Control NgRAN**



Fuente: ITSI. (2018). p.9.

Puerto (2017) enfatiza que servicios de 5G necesitan esquemas de organización mejorados entre los diferentes dominios de administración, y también la completa explotación de una serie de servicios que se ofrecen en la nube, a lo que se suman puntos de agregación.

**Figura 8: Esquema Organizacional en 5G**



Fuente: Puentes. (2017). p.28.

Para una simulación, de las ondas milimétricas, se puede usar el software libre NYUSIM Versión 1.6.1, ésta es una aplicación que tiene su base de código en Matlab y fue desarrollado por la Universidad de New York. Se utiliza para representar las ondas milimétricas en varios ambientes urbanos con micro celda UMi. El software tiene 30 parámetros para simular las especificaciones del canal y las propiedades de la antena, según indican Sun, Yu y Rappaport (2016):

- **Especificaciones del Canal**

1. Opcion de rango de distancia (Distance Range Option): Parámetro de selección denotando el rango de distancia. Tiene dos opciones "Standard (10-500 m)" y "Extended (10-10,000 m)".
2. Frecuencia (Frequency GHz): Parámetro denotando la frecuencia de carga en GHz. Puede ser de 0.5 a 100 GHz.
3. Ancho de banda RF (RF Bandwidth (MHz)): Parámetro que denota la banda RF en que va a ser transmitida la señal. Puede ser variada de 0-800 MHz.
4. Escenario (Scenario): Parámetro que denota el escenario. Tiene 3 opciones (UMi, UMa, RMa).
5. Ambiente (Environment): Parámetro denotando el ambiente de vista. Se pueden seleccionar dos opciones: LOS (línea de vista) y NLOS (no línea de vista).
6. Límite bajo de T-R distancia de separación (Lower Bound of T-R Separation Distance (m)): Parámetro que indica la distancia mínima de separación entre la antena transmisora y receptora. Puede variar de 10 a 500 metros.
7. Límite alto de T-R distancia de separación (Upper Bound of T-R Separation Distance (m)): Parámetro denotando la distancia máxima de separación entre la antena transmisora y receptora. Puede variar de 10 a 500 metros.
8. Poder de TX (TX Power (dBm)): Parámetro denotando el poder de transmisión en dBm. Puede variar de 30 a 50 dBm.
9. Altura de la estación base (Base Station Height (m)): Parámetro denotando la altura de la estación base. Puede variar de 10 a 150 m.

10. Presión barométrica (Barometric Pressure): Parámetro denotando la presión barométrica en mbar para la pérdida del espacio libre en el aire.
11. Humedad (Humidity): Parámetro denotando la humedad percibida por el vapor. Se puede seleccionar desde 0% a 100%.
12. Temperatura (Temperature): Parámetro denotando la temperatura en Celsius, para evaluar la propagación en el espacio libre se puede seleccionar desde -100°C a 50°C.
13. Porcentaje de lluvia (Rain Rate): Parámetro que denota el porcentaje de lluvia en mm/h. Se puede variar de 0 a 150 mm/h.
14. Polarización (Polarization): Parámetro de polarización de antenas entre TX y RX. Puede variar de 5 a 27 dBm.
15. Pérdida por arbustos (Foliage Loss): Indicador booleano que indica si los arbustos van a ser considerados en la simulación.
16. Distancia entre arbustos (Distance Within Foliage): Distancia en metros por la que la señal pasa los arbustos.
17. Atenuación de los arbustos (Foliage Attenuation): Parámetro denotando la propagación de pérdida en los arbustos en (dBm). Puede variar de 0 a 10 dBm.
18. Número de localizaciones Rx (Number of RX Locations): Número de estaciones receptoras RX. Puede variar de 1 a 10.000.

- **Parámetros de la Antena**

1. Tipo de arreglo TX (TX Array Type): Parámetro denotando el tipo de Array TX. Se puede seleccionar (ULA uniform linear array o URA uniform rectangular array).

2. Tipo de arreglo RX (RX Array Type): Parámetro denotando el tipo de Array RX. Se puede seleccionar (ULA uniform linear array o URA uniform rectangular array).
3. Número de elementos Nt Antena TX (Number of TX Antenna Elements Nt): Total de elementos en el array de la antenna TX. Puede variarse de 1 a 128.
4. Número de elementos Nr Antena RX (Number of RX Antenna Elements Nr): Total de elementos en el array de la antenna RX. Puede variarse de 1 a 128.
5. Espaciado de antena TX en ancho de banda (TX Antenna Spacing (in wavelength)): Espaciado entre las antenas adyacentes de transmisión TX en términos de ancho de banda de portadora. Se puede modificar desde 0.1 a 100.
6. Espaciado de antena RX en ancho de banda (RX Antenna Spacing (in wavelength)): Espaciado entre las antenas adyacentes de recepción RX en términos de ancho de banda de portadora. Se puede modificar desde 0.1 a 100.
7. Número de elementos wt en Antena TX (Number of TX Antenna Elements Per Row Wt): Número de antenas TX en una dimensión cuando las antenas son (ULA uniform linear array o URA uniform rectangular array).
8. Número de elementos wr en Antena RX (Number of RX Antenna Elements Per Row Wr): Número de antenas RX en una dimensión cuando las antenas son (ULA uniform linear array o URA uniform rectangular array).
9. Azimuth de Antena TX en grados (TX Antenna Azimuth HPBW (degrees)): Parámetro denotando el azimut o línea de vista HPBW de la antenna TX en grados. Puede variarse de 7° a 360°.
10. Elevación de antena TX en grados (TX Antenna Elevation HPBW (degrees)): Parámetro denotando la elevación de la antenna TX en grados. Puede ser variarse de 7° a 45°.

11. Azimuth de Antenna RX en grados (RX Antenna Azimuth HPBW (degrees)):  
Parámetro denotando el azimut o línea de vista HPBW de la antena RX en grados. Puede variarse de 7° a 360°.
12. Elevación de antena RX en grados (RX Antenna Elevation HPBW (degrees)):  
Parámetro denotando la elevación de la antena RX en grados. Puede ser variarse de 7° a 45°.

### **2.2.2.3 Aspectos sociales**

ADSL (2018) expresa que en Estados Unidos ya se están dando los primeros despliegues de la tecnología 5G donde son, precisamente, las celdas inteligentes las causantes de preocupación entre las personas, sobre todo por la creencia de que las antenas de telefonía móvil están relacionadas con el cáncer, al multiplicarse el número las personas hacen consultas e incluso imponen quejas. ADSL (2018) comenta:

La llegada del 5G, que necesitará muchas más antenas, está desencadenando una cadena de rechazo en muchas comunidades de Estados Unidos. La instalación de antenas por parte de las compañías norteamericanas está cosechando críticas y quejas de algunos usuarios que desconocen completamente las necesidades de esta nueva tecnología.

En los próximos años, aparecerán antenas instaladas en elementos del mobiliario urbanos, tales como semáforos o farolas por todas las calles de nuestras ciudades. Todos los operadores deberán hacer un esfuerzo económico importante para ello, siendo una de las mayores inversiones de los próximos años. (p.3-4)

ADSL (2018) constata que el rechazo, también, se da a nivel de los gobiernos locales que se saturan con cientos de peticiones de instalaciones de antenas en diferentes ubicaciones. En la actualidad, solo existen unas 100 000 celdas instaladas en Estados Unidos, pero a futuro serán millones y el problema se agrave. Esto es imposible

de cambiar, pues por la frecuencia en la que opera la 5G solo tiene una cobertura de decenas de metros.

La solución general de acceso de redes 5G, que consiste en la evolución de LTE y la nueva tecnología del espectro, soportará un número masivo de dispositivos conectados en tiempo real y las necesidades para aplicaciones de misión crítica permitirá la conectividad para nuevas aplicaciones y nuevos casos incluyendo cosas que sean usadas, casas inteligentes, sistemas de seguridad y control de tráfico, infraestructura, procesos industriales y envío de videos en tiempo real a muy altas velocidades. (Puerto, 2017 p. 22)

Las dificultades legales de la instalación de las 5G ya han empezado a ser notorias en países como Perú. Guardia (18 de julio de 2018) dice que el Ministerio de Transporte y Comunicaciones quiere modificar la normativa, donde se tiene que elaborar un plan de obras de las antenas por instalar en parques y plaza que debe ser aprobado por el gobierno local. Por lo engorroso de los trámites, Nino Bogio, gerente general de Entel (Empresa Nacional de Telecomunicaciones) en Perú, estima que una medida de este tipo puede retrasar las inversiones que realizan las compañías telefónicas en especial la de 5G que se empezarían a usar en el ese país en los próximos años.

Dentro de las mejoras que se esperan con la implementación de la red 5G se encuentran:

1. Mejoramiento en la banda ancha móvil: incluidas las velocidades de datos de múltiples gigabits (Gbps) para aplicaciones, tales como la realidad virtual y la capacidad de sustentar el gran aumento del tráfico de datos.
2. Comunicaciones ultra confiables: incluidas una muy baja latencia (<1ms), como también, muy alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad de servicios para sustentar los requerimientos de los vehículos autónomos y la salud móvil, por ejemplo.
3. Comunicaciones masivas de máquinas: incluida la capacidad de apoyar un número masivo de conexiones de IoT de bajo costo, con baterías de muy larga duración y cobertura amplia, aún dentro de los edificios (GSMA, 2016 p. 2)



## **2.3 Hipótesis**

La implementación de la tecnología 5G se verá dificultada por los obstáculos administrativos para colocar las antenas en los sitios adecuados en el cantón Central de Heredia. Se prevé que con la llegada del 5G el país no esté preparado para adoptar la tecnología, lo cual puede repercutir en pérdida de posibles entradas de dinero de las empresas que utilicen esta tecnología.

## **2.4 Limitaciones**

La principal limitación que puede existir es la cooperación de la Municipalidad de Heredia. Entrevistar los funcionarios es importante para conocer los posibles lugares de la tecnología, así para conocer sus inquietudes con respecto de la instalación de esta red, pero por esto último puede que sean reticentes a dar respuestas.

El trabajo puede recomendar una serie de equipos que se consideren aptos para la tecnología 5G, pero el cambio de la tecnología puede variar en muy corto tiempo.

Igualmente se pueden sugerir lugares de instalación, pero si existe oposición se tendrían que buscar otros.

## **2.5 Alcances**

Como se ha indicado la tecnología 5G será probada en el cantón Central de Heredia. Para lo que interesa, es una zona, como indica Rodríguez (3 de julio de 2016) tiene una de las mejores condiciones del país en educación, salud y nivel de vida (bienestar material), por lo que el uso de los dispositivos móviles es alto.

# **CAPÍTULO III**

**Desarrollo**

### 3.1 Desarrollo

#### 3.1.1 Sitios y frecuencias de funcionamiento.

De acuerdo con la investigación para la implementación de las redes 5G se tiene que utilizar una frecuencia por encima de los 6GHz, de acuerdo con el Reglamento al Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) las frecuencias por encima de 6GHz se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 3: Atribución de Frecuencias, según PNAF

Número de la Banda	Símbolos (en Inglés)	Gama de frecuencias (Excluido límite inferior, pero incluido superior)	Subdivisión métrica correspondiente
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas miriamétricas
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas Kilométricas
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas Hectométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas Decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas Decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 a 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas

Fuente: MICITT (2018)

La frecuencia de 28 GHz se considera como óptima por sus bajos niveles de atenuación y en el PNAF nota CR105 se establece como reservada para red móvil en utilización secundaria, se debe de confirmar que no afecten servicios del sistema primario que es Fijo por satélite, según la siguiente tabla:

**Figura 9: PNAF CR105**

25,25 GHz – 29,9 GHz		
Región 2 (UT)	Costa Rica	Nota
27,5 – 28,5	27,5 – 28,5	CR 105
FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL 5.484A 5.516B 5.537A 5.538 5.539 5.540	FIJO FIJO POR SATELITE (Tierra Espacio) MOVIL	
28,5 – 29,1	28,5 – 29,1	CR 105
FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra-espacio) 5.484A 5.516B 5.523A 5.540 5.541	FIJO FIJO POR SATELITE (Espacio Tierra) MOVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra Espacio)	

Fuente: MICITT (2018)

En cuanto a la distancia y posición entre las estaciones base o nodos, se pueden utilizar los postes de alumbrado público por la cantidad de nodos que lleva la arquitectura NGRAN propuesta por 3GPP. Los postes de alumbrado tienen una altura de 11 metros, si se dejan un metro de arriba para abajo es considerable colocar los nodos a 10 metros de altura.

La simulación se puede replicar en cada cuadra de la ciudad de Heredia para cumplir con la cantidad de nodos que requieren ser conectados al 5G. La siguiente imagen representa un ejemplo de conexión cerca del Fortín en Heredia centro:

**Figura 10: Heredia Centro, Costa Rica**



Fuente: Google maps (2019). Modificado por Javier Quiros

Para el cálculo de cómo se propaga pérdida de la señal en el espacio libre (isotrópica) se utiliza la fórmula que está expresada en Decibelios:

$$\text{FSPL (dB)} = 20\log(d) + 20\log(f) + 32.44$$

*Ecuación 1. Pérdida del espacio libre. Recuperada de [www.electronics-notes.com](http://www.electronics-notes.com), febrero, 2019.*

Donde  $d$  es la distancia desde el transmisor al receptor expresada en Kilómetros (Km) y la  $f$  representa la frecuencia expresada en Mega Hertz (MHz).

Si se tiene una distancia de 100 metros simulando una cuadra en el sector central de Heredia y una frecuencia de 28 GHz.

$$\text{FSPL (dB)} = 20\log(0.100) + 20\log(20 \times 10^3) + 32.44$$

$$\text{FSPL (dB)} = 98.4606 \text{ db}$$

Si se quiere expresar con una ganancia de las antenas:

$$F = 20\log(d) + 20\log(f) + 32.44 - G_{tx} - G_{rx}$$

$$F(\text{dB}) = 20\log(0.100) + 20\log(20 \times 10^3) + 32.44 - 3\text{db} - 3\text{db}$$

$$F(\text{dB}) = 92.4606 \text{ db}$$

Si los nodos se ubican aproximadamente cada 100 metros en el centro de Heredia, se deben de tomar en cuenta 30 parámetros de especificaciones del canal y propiedades de la antena:

**Figura 11: Parámetros NYUSIM**

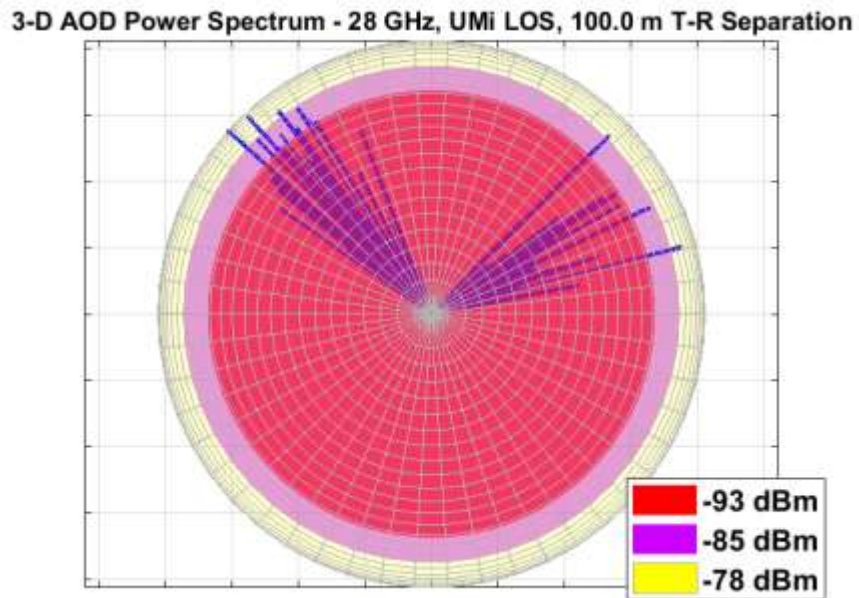
Channel Parameters		Antenna Properties	
Distance Range Option Standard (10-500 m)	Barometric Pressure 1017 mbar	TX Array Type ULA	Number of TX Antenna Elements Per Row Wt 1
Frequency (0.5-100 GHz) 28 GHz	Humidity (0-100%) 57 %	RX Array Type ULA	Number of RX Antenna Elements Per Row Wt 1
RF Bandwidth (0-800 MHz) 800 MHz	Temperature 22 °C	Number of TX Antenna Elements Nt 1	TX Antenna Azimuth HPBW (7°- 360°) 10 °
Scenario UMi	Rain Rate (0-150 mm/hr) 37 mm/hr	Number of RX Antenna Elements Nr 1	TX Antenna Elevation HPBW (7°- 45°) 10 °
Environment LOS	Polarization Co-Pol	TX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100) 0.5	RX Antenna Azimuth HPBW (7°- 360°) 10 °
T-R Separation Distance (10-500/10,000 m) Lower Bound 100 m	Foliage Loss No	RX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100) 0.5	RX Antenna Elevation HPBW (7°- 45°) 10 °
Upper Bound 500 m	Distance Within Foliage 0 m		
TX Power (0-50 dBm) 30 dBm	Foliage Attenuation 0.4 dB/m		
Base Station Height (10-150 m) 10 m	Number of RX Locations 1		

Fuente: NYUSIM

Se va a usar las características climáticas del centro de Heredia con un poder TX de 30 dBm sobre un ancho de banda RF de 800 MHz. También, se asume que hay una línea de vista LOS entre los postes del centro de Heredia.

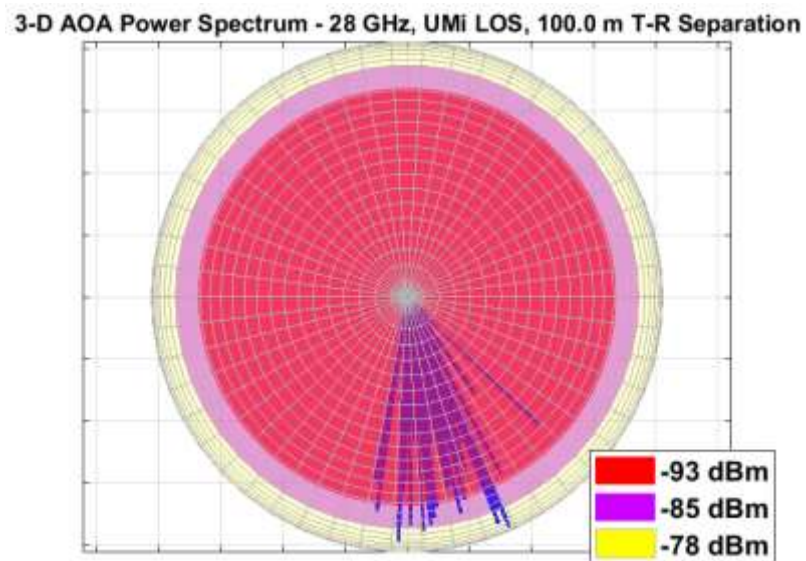
Las figuras 12 y 13 muestran el ángulo de salida AOD y ángulo de llegada AOA asociados con el espectro del simulador estadístico NYUSIM.

**Figura 12: Angulo de Salida**



Fuente: NYUSIM

**Figura 13: Angulo de Llegada**

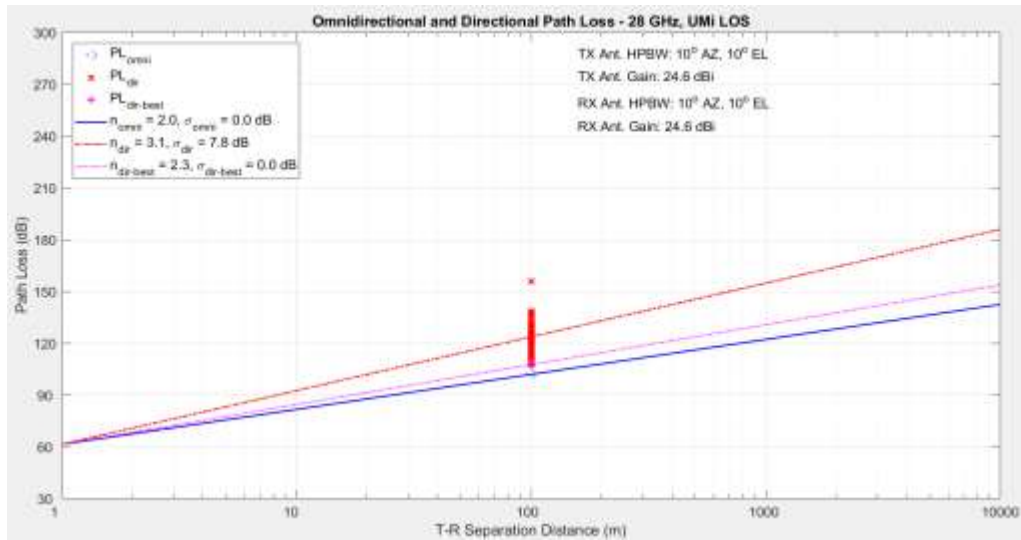


Fuente: NYUSIM



NYUSIM, también da el Modelo omnidireccional de pérdida del espacio libre en 28 GHz (móvil) para el LOS, obtenidos de la banda ancha de 800 MHz. Este gráfico concuerda con los cálculos hechos anteriormente.

**Figura 14: Pérdida en el espacio libre LOS**

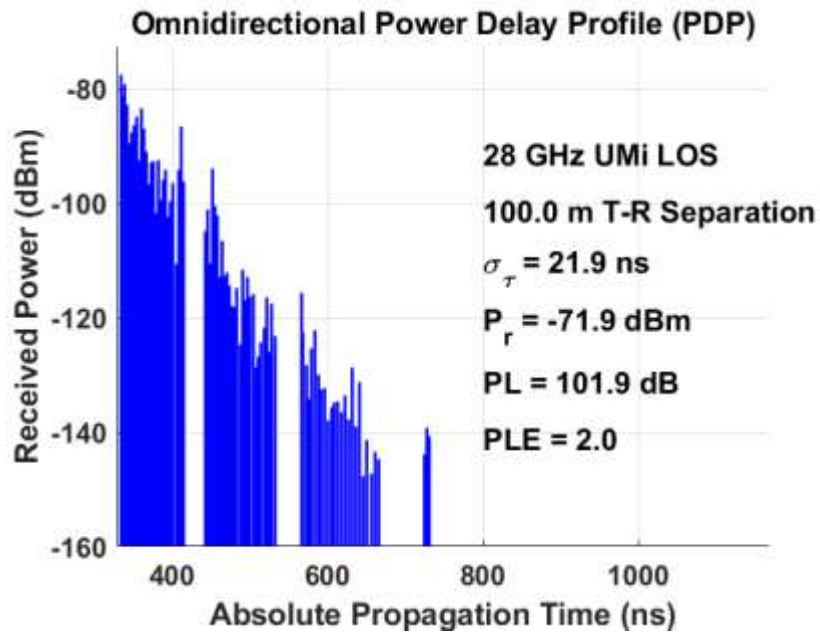


Fuente: NYUSIM.

En la figura anterior  $n$ , denota el exponente de pérdida de paso (PLE),  $\sigma$  es la desviación estándar, "omni" significa omnidireccional, "dir" representa direccional, "dir-best" significa la Dirección con el poder recibido más fuerte, "Ant". Denota la antena, "AZ" y "EL" representan acimut y elevación, respectivamente.

Por otro lado, NYUSIM brinda una simulación de la pérdida de poder omnidireccional en función del tiempo de propagación absoluto en ns:

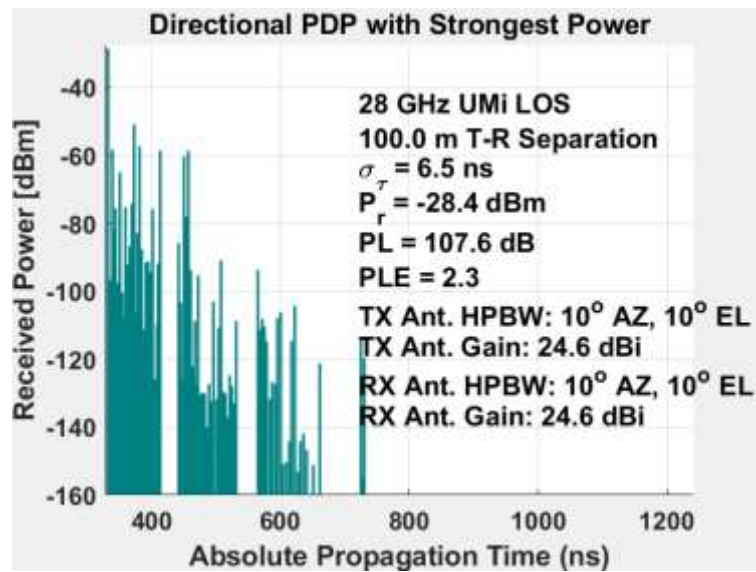
**Figura 15: Esquema de retraso de poder Omnidireccional**



Fuente: NYUSIM.

El software también ejecuta una simulación de la pérdida de poder direccional en función del tiempo de propagación absoluto en ns:

**Figura 16: Esquema de retraso de poder Direccional**



Fuente: NYUSIM.

### 3.1.2 Tipos de equipos

Según la GSMA los requisitos para el éxito de las tecnologías 5G son:

1. El 5G necesita una cantidad importante de nuevas frecuencias armonizadas para los servicios móviles. Los reguladores deben aspirar a disponer de 80- 100 MHz de espectro continuo por operador en las principales bandas medias de 5G (por ejemplo, 3,5 GHz) y en torno a 1 GHz por operador en las bandas de ondas milimétricas (es decir, por encima de 24 GHz).

2. El 5G precisa espectro en tres gamas de frecuencias fundamentales para proporcionar una cobertura extendida y soportar todas las formas de uso. Las tres gamas son: por debajo de 1 GHz, entre 1 y 6 GHz y por encima de 6 GHz. - Las frecuencias por debajo de 1 GHz soportarán una cobertura extendida en entornos urbanos, suburbanos y rurales y contribuirán a soportar los servicios del internet de las cosas (IoT).

- La banda 1-6 GHz ofrece una buena combinación entre los beneficios de la cobertura y la capacidad. Esto incluye espectro en la gama de 3,3 a 3,8 GHz, que se espera constituya la base para muchos servicios 5G iniciales.

- Las frecuencias superiores a 6 GHz son necesarias para alcanzar las velocidades previstas para el 5G. Actualmente, las bandas de 26 GHz y/o 28 GHz son las que mayor apoyo internacional tienen en esta gama de frecuencias. Un asunto fundamental para la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT en 2019 (CMR-19) será establecer un acuerdo sobre las bandas 5G por encima de 24 GHz.

3. La CMR-19 será vital para lograr el objetivo de velocidades ultra rápidas para el 5G y se precisa el respaldo de los gobiernos al sector de las comunicaciones móviles durante todo el proceso. La GSMA recomienda el apoyo a las bandas de 26 GHz, 40 GHz y 66-71 GHz para los servicios móviles.

4. El planteamiento básico para la gestión del espectro 5G debe seguir siendo la concesión de licencias exclusivas. La compartición del espectro y las bandas sin licencia pueden jugar un papel complementario.

5. Reservar frecuencias para las industrias verticales en las bandas 5G prioritarias podría dificultar el éxito de los servicios 5G públicos y puede desperdiciar parte del espectro. Los planteamientos de compartición como el arrendamiento son mejores opciones donde las industrias verticales requieran acceso al espectro.

6. Los gobiernos y los reguladores deberían evitar inflar los precios (por ejemplo, mediante precios de reserva o tasas anuales excesivos) puesto que se arriesgan a reducir las inversiones en redes e incrementar el coste de los servicios.

7. Los reguladores tienen que consultar a las partes interesadas para garantizar que los planteamientos de asignación y concesión de licencias tienen en cuenta los planes técnicos y comerciales de despliegue.

8. Es preciso que los gobiernos y los reguladores adopten medidas de política nacional sobre el espectro para incentivar grandes inversiones a largo plazo en redes 5G (por ejemplo, licencias a largo plazo, procedimientos de renovación claros, hojas de ruta en materia de espectro, etc).

Una revista de telecomunicaciones Transformación Digital en el año 2018 indica:

Una de las mayores dificultades para definir la 5G es que debe ser capaz, a la vez, de proporcionar una solución a dos escenarios muy distintos:

La comunicación entre máquinas que debe ser muy poco compleja, muy barata, con muy poca potencia y no necesariamente a gran velocidad.

Altísima velocidad de comunicación para que los usuarios puedan disfrutar de nuevos servicios como la televisión de alta definición y otras aplicaciones novedosas como la realidad virtual y la tele presencia.

Para ello, se piensa en tecnologías avanzadas, como son:

La utilización de gran cantidad de antenas: esto permite aumentar la velocidad de datos al tiempo que se ahorra mucha potencia. Se está hablando de situar cientos de antenas en una estación base, donde, actualmente, no hay más de cuatro. Esta tecnología se denomina MIMO masivo.

### **Figura 17: Figura de Estaciones Base**



Fuente: GSMA

El uso de frecuencias muy altas, por encima de 6 GHz, que, actualmente, no se utilizan para comunicaciones móviles.

La disminución del tamaño de las celdas, situando multitud de estaciones base a nuestro alrededor, en lo que se denominan sistemas ultra-densos. De esta forma siempre se tendrá una estación base muy cerca para permitir transmitir y recibir datos a gran velocidad con poco consumo de energía. (p. 1)

Los micro celdas son el principal dispositivo para replicar la arquitectura de 5G en todos los lugares del cantón de Heredia. Los proveedores locales tienen que usar dispositivos pequeños para repetir la señal, entre los principales desarrolladores de estos dispositivos se encuentra Qualcomm. La versión X55 5G tiene la capacidad de utilizar la banda 4G y 5G.

- Soporte multi-modo integrado de 5G a 2G
- Admite virtualmente cualquier banda, modo o combinación de espectro disponible
- Compartición de espectro 5G / 4G con velocidades de 5Gbps
- Capacidad de red mejorada con soporte MIMO de dimensión total (FD-MIMO)
- Soporte de arquitectura de conformación de haz mmWave multi-antena

La compañía Qualcomm basada en los documentos propuestos por 3GPP, también anunció un prototipo de nodos NR para acelerar la implementación de 5G en los dispositivos móviles. De acuerdo con las noticias de la empresa:

El prototipo, que opera en bandas de espectro de ondas milimétricas (mmWave) por encima de 24 GHz, demuestra cómo se pueden utilizar las tecnologías avanzadas de 5G NR mmWave para ofrecer comunicaciones de banda ancha móvil robustas a velocidades de datos de varios gigabits por segundo en entornos móviles del mundo real.

El prototipo del sistema empleará tecnología de antena de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO, por sus siglas en inglés) con técnicas de conformación de haz analógicas y de seguimiento / dirección de haz, que se requieren para comunicaciones de banda ancha móvil robustas y sostenidas en entornos sin línea de vista (NLOS) y Movilidad del dispositivo. Con el soporte para el ancho de banda de 800 MHz y las tecnologías avanzadas de 5G NR. (2017)

Es importante aclarar que el modelo X55 y los nodos NR no han revelado su precio de mercado hasta el momento.

Por otro lado, la empresa Samsung anunció, también, una gama completa de productos 5G en publicaciones:

- **5G Home Router:** explora un nuevo territorio extendiendo la red móvil y plantando una nueva red inalámbrica fija. El 5G Home Router permite a los usuarios conectividad directa a la red inalámbrica, con solo colocarlo en una ventana frente a una radio 5G cercana.

- **La estación base de radio 5G:** Es una extensión natural de las celdas pequeñas LTE de hoy, diseñadas para instalarse en una configuración densa que permite capacidades de red muy altas. El sistema es compatible con el espectro mmWave de 28 GHz, una frecuencia común en los principales mercados de 5G, y es capaz de proporcionar más de 10 Gbps entre dispositivos dentro de su rango de cobertura.
- **La infraestructura de red de Next-Generation Core:** Sirve como el punto centralizado de control y dirección para el tráfico de red, y proporciona un salto en el rendimiento y la flexibilidad alineados con las demandas de los casos de uso de conectividad emergentes. Con un cambio a una arquitectura impulsada por software, el núcleo virtualizado gana la capacidad de dividir los recursos de la red y las funciones individuales de la red para mantener las máximas eficiencias operativas. (2017)

Estos sistemas están diseñados para manejar las complejidades de las arquitecturas de próxima generación, con la facilidad que brindan las tecnologías de SDN y NFV para la administración más correcta de los dispositivos. La siguiente figura muestra los dispositivos en desarrollo:

**Figura 18: Productos Samsung 5G**



Fuente: Samsung

Los precios de estos productos tampoco han sido revelados oficialmente porque están en una prueba antes de ser lanzados a su comercialización.

La empresa china ZTE, también, lanzó su portafolio de productos que soportan la tecnología de 5G:

- Multi-mode BBU: Compatible con 2G, 3G, 4G, NB-IoT y 5G con la capacidad de procesamiento máxima de la industria. Realice la capacidad elástica de la red inalámbrica y la interfaz abierta, lo que permite la localización de negocios innovadores. Admite redes C-RAN, D-RAN y flexibles.
- AAU @Sub-6GHz & mmWave: Admite el espectro 5G convencional utilizado en la industria y adopte tecnologías 5G clave, como Massive MIMO, Beam Tracking y Beamforming. Puede satisfacer los requisitos de cobertura y capacidad en zonas urbanas densas, generalmente, urbanas, suburbios, aldeas y otros escenarios
- 5G Qcell: Puede instalarse fácil y rápidamente en escenarios de alta densidad y cobertura de interiores, como centros comerciales, gimnasios, edificios de oficinas y aeropuertos. Capacidad ultra grande y se puede instalar fácil y rápidamente. Gestionado de forma visual para un funcionamiento y mantenimiento unificados.
- 5G Pad: Adecuado para zonas ciegas o de zonas calientes como callejones estrechos, túneles de puentes, lugares pequeños, lugares turísticos y de ocio. Con un diseño compacto y una antena integrada, la almohadilla 5G ofrece detección rápida del sitio y fácil instalación. Diseño compacto y una antena integrada. Detección rápida del sitio y fácil instalación. (2019)

Los precios de los dispositivos serán anunciados en este año. En 2019, ZTE se comprometerá con la innovación independiente de las tecnologías más importantes, cuyo objetivo es alcanzar el liderazgo en la innovación 5G, reforzada por sus tecnologías de vanguardia.



En cuanto a las limitaciones, se puede mencionar que los proveedores de estos dispositivos no tienen una firma directa en Costa Rica, por lo que el proceso de importación se vuelve un poco complicado.

La disponibilidad está para comprarse en un corto período, a finales del 2019 todos estos dispositivos se van a insertar al mercado. La prueba de concepto está sucediendo en Japón como prevista de los Juegos Olímpicos.

En cuanto a los equipos de los usuarios finales, Samsung anunció su Galaxy S10 5G y, a partir de entonces, otros fabricantes han hecho lo mismo. Desde este anuncio la mayoría de proveedores ha tratado de lanzar sus modelos 5G. Los teléfonos soportan la nuevas banda y tienen un poco más de grosor debido a la antena especial que contienen.

Si un usuario compra los dispositivos 5G pensando que va a tener los beneficios de velocidad que tiene la tecnología está equivocado. Los proveedores de servicio siguen adaptando su infraestructura para poder soportar la tecnología.

En países como Estados Unidos, la noticia de la nueva red no se tomó tan de buena manera. Los estadounidenses tenían un proyecto país de cubrir todo el país con fibra óptica y la inversión en equipos de fibra fue muy grande. En este momento se encuentran buscando la forma de cómo integrar los dispositivos ya instalados con la nueva tecnología 5G.

### **3.1.3 Trámites de las redes 5G**

En cuanto a los trámites necesarios con los gobiernos locales, se basa en las licencias que tiene la municipalidad de Heredia. El reglamento para el otorgamiento de licencias de construcción en el cantón de Heredia – Publicado La Gaceta N° 53 – 4/04/2018

## **Artículo 6 Inciso c:**

**Proyectos de características particulares:** Se aplicarán los requisitos contemplados en el artículo 5 del presente documento, y los del anexo 1, códigos del 9 al 11, 14, 16 al 21 y 23. a- Tapias

b- Vallas publicitarias

c- Torres de Telecomunicaciones

d- Infraestructura de Transmisión Eléctrica

e- Demoliciones

f- Muros

g- Puentes

h- Reforzamiento estructural

i- Obras de protección en márgenes de ríos

j- Instalación Eléctrica

## Artículo 5:

Requisitos generales de solicitud. Para la construcción de obras mayores, menores, de mantenimiento, deberá cumplirse con los siguientes requisitos (Anexo 1. Código 1 al 8):

a. Completar y presentar el formulario de solicitud de permiso de obra mayor, o de obra menor, según corresponda. Este documento deberá estar firmado por el propietario del inmueble y el profesional responsable, con excepción de las obras de mantenimiento que no requieren la participación obligatoria de un

profesional responsable miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

b. Personería jurídica y copia de cédula de identidad del representante legal, en el caso de propietarios con razón jurídica.

Visto bueno de las Secciones municipales de Catastro y Valoración y Servicios Tributarios.

d. Estar al día con el pago de los tributos municipales.

e. Estudio o certificación registral vigente de la propiedad en el que se van a efectuar las obras. En el caso de ser una propiedad en derechos, deberá adjuntar el informe registral de cada derecho y una carta en la que los demás propietarios consientan la realización de las obras.

f. Una copia legible del plano catastrado.

g. Cuando el solicitante no sea el propietario del inmueble deberá presentar un poder, cuyas firmas deberán estar autenticadas por Abogado o Notario.

h. Visto bueno del Centro de Conservación Patrimonio Cultural del Ministerio de Cultura y Juventud cuando el inmueble tenga declaratoria patrimonial.

i. Las construcciones beneficiadas por la Ley 7052 Ley del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda y Creación del Banco Hipotecario de la Vivienda (bono de vivienda) deberán adjuntar copia de la "Declaratoria de Interés Social", para aplicar la exoneración parcial del impuesto de construcción

### **3.1.4 Parámetros de calidad QoS y cobertura de redes**

En cuanto a los parámetros de calidad IJFCC menciona que los principales indicadores de rendimiento en las redes 5G son dados por los siguientes parámetros:

- 1) Densidad de volumen de tráfico
- 2) Experiencia del usuario final
- 3) Latencia
- 4) Confiabilidad
- 5) Disponibilidad y capacidad de retención.

La densidad del volumen de tráfico y la experiencia de usuario vienen dada por el ancho de banda que van a tener los dispositivos. La propuesta 5G tiene como objetivo más de 10 Gb/s, para proveer dicha velocidad de transferencia de datos, el uso de banda ancha canales en bajada de datos (DL), así como en el de subida (UL) tienen que tener un ancho de espectro continuo de 500 a 1000 MHz ser requerido. La asignación de estas bandas para canales 5G es posible utilizar el límite superior del centímetro y las bandas de ondas milimétricas, reduciendo significativamente la distancia de las estaciones base desde 50–100 m. (2017)

En cuanto a la latencia, el parámetro que van a tener la redes 5G van a ser de 1 ms comparado con los 50 ms que tenía el 4G. Según Tikhvinskiy, Terentiev y Visochin los datos muestran un decremento en la cantidad de milisegundos de respuesta que tiene un paquete en ir al servidor y volver al usuario. La siguiente tabla muestra los requerimientos de atraso de las redes 3G/4G/5G de acuerdo con la propuesta de 3GPP:

Tabla 4: Requerimientos de Atraso en 3G/4G/5G

Términos QoS	Pérdida de Paquetes en milisegundos		
	3G	4G	5G
Sin Calidad	No Determinada	100-300	No Determinada
Con Calidad Garantizada	100-280	50-300	1

Fuente: METIS (2014)

Otro parámetro es la proporción de paquetes perdidos en capa de transporte debido a errores al recibir paquetes de datos (tasa de error de paquetes). Por ejemplo, cuando se está viendo TV digital usando un protocolo UDP, se quiere que este parámetro de pérdida sea el más mínimo. Los valores que determinan los requisitos para la mayor cantidad de paquetes IP perdidos para la transmisión de video a través de redes móviles 3G / 4G / 5G, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5: Requerimientos de errores en pérdida de paquetes para transmisiones de Video

Términos QoS	Tasa de Pérdida de Paquetes			
	SDTV	HDTV	4K UHD	8K UHD
Generación	3G/4G	4G	4G	5G
Con Calidad Garantizada	10-6	10-7	10-8	10-9

Fuente: METIS (2014)

En cuanto a la confiabilidad y disponibilidad de la red 5G, los usuarios tienen que tener un uptime muy cercano al 100% y una disponibilidad completa. El uptime se refiere al tiempo en el que si un servicio se cae, cuánto tiene que pasar para que el servicio vuelva a levantarse. La confiabilidad de la transmisión de la red 5G debe ser de 99.999%.

Para una mejor interpretación del porcentaje de confiabilidad uptime, se puede referir a la tabla 6 que muestra la cantidad en segundos de 30 días:

Tabla 6: Interpretación del uptime

Porcentaje	Downtime (inactividad en 30 días)
99%	Dos Nueve equivalen a 7 horas y 12 minutos de inactividad en 30 días
99.9%	Tres Nueve equivalen a 43 minutos y 12 segundos de inactividad
99.99%	Cuatro Nueve equivalen a 4 minutos, 19 segundos de inactividad
<b>99.999%</b>	<b>Cinco Nueve equivalen a 26 segundos de inactividad</b>
99.9999%	Seis Nueves equivalen a 3 segundos de inactividad

Fuente: Hostingmanual. Modificado por Javier Quirós

## 3.2 CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis realizado, la frecuencia de 28GHz es una banda que está disponible para el uso de redes móviles y se considera como óptima para la instalación de las antenas inteligentes en el centro de Heredia, con una distancia entre cada poste esquinero de aproximadamente 100 metros.

En el estudio prospectivo determinó que se deben utilizar equipos especiales para soportar la red 5G, las antenas inteligentes con tecnología beamforming, los celulares con antenas adaptadas a la frecuencia y las micro celdas que se colocarán en las distancias cortas son una inversión inevitable por parte de los proveedores y los usuarios de las redes 5G.

De acuerdo con lo investigado en cuanto a los trámites con los gobiernos locales, se tienen que hacer con base en el reglamento de construcción inciso c de la municipalidad de Heredia. Los requisitos pueden llegar a ser un dolor de cabeza si el sector de instalación colinda con una zona dividida a otra municipalidad. Esto porque cada gobierno local tienen sus propias normas internas que rigen en el territorio nacional. Es necesario que un ente autónomo tome la pauta para que la legislación sea igualitaria en todas las regiones del país y se sigan los mismos lineamientos.

El surgimiento de las redes 5G en 2020 va a centrarse en una mejora significativa de las características de redes móviles, incluida la calidad del servicio. Dado que los principios de control de QoS se mantendrán durante la transición de 4 G a 5 G, el principal esfuerzo de los desarrolladores de 5G debe centrarse en la virtualización y manejo de la gran cantidad de dispositivos por medio de las SDN. Los futuros servicios móviles se agruparán en el tráfico de paquetes y lo clasificarán en servicios de video y servicios basados en el uso masivo de M2M; como son las tecnologías de IoT y hogares de los consumidores.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

Para estar un paso al frente en tecnologías, se debe de acoger las tecnologías lo más pronto posible. Por medio de esta investigación, se determinó que los esfuerzos que se han hecho son importantes, pero no logran ir al ritmo de lo que está avanzando esta tecnología. Es importante definir proyectos que involucren al sector público y privado para que las redes 5G sean un impulso para el país en su carrera de convertirse un país que lleva la vanguardia en las telecomunicaciones.

La investigación realizada es una herramienta para futuros trabajos en tecnologías móviles 5G y estudios prospectivos. Se recomienda hacer simulaciones por medio de equipo físico. Por cuestiones de tiempo y dinero sería bueno que las investigaciones sean en conjunto con una entidad autónoma nacional o una entidad privada.

Por otro lado, es preferible que exista un ente de gobierno que marque las pautas sobre todos los gobiernos locales o municipalidades del país en cuanto a la implementación de las redes 5G. Si todos los gobiernos locales tienen requerimientos diferentes va a ser muy difícil ponerse de acuerdo con esta tecnología, tomando en cuenta que en la mayoría de los casos se puede utilizar distancias pequeñas como lo son los postes de alumbrado público.



## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias marco teórico

ADSL. (13 de setiembre de 2018). El 5G se encuentra con el primer problema: la gente no quiere tantas antenas en las calles. Recuperado de <https://www.adslzone.net/2018/09/13/problema-antenas-5g-celdas/>

A. Nordrum y K. Clark. (6 de mayo de 2017). 5G Bytes: Beamforming Explained. Recuperado de <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-millimeter-waves-explained>

A. Nordrum y K. Clark. (15 de Julio de 2017). 5G Bytes: Beamforming Explained. Recuperado de <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-beamforming-explained>

Guardia, K. (18 de julio de 2018). Modificación al marco legal para instalación de antenas pone en riesgo desarrollo del 5G. Gestión.pe. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/modificacion-marco-legal-instalacion-antenas-pone-riesgo-desarrollo-5g-238787>

ETSI. (Julio 2018). 5G; NG-RAN; Architecture description (3GPP TS 38.401 version 15.2.0 Release. Recuperado de [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138400\\_138499/138401/15.02.00\\_60/ts\\_138401v150200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138401/15.02.00_60/ts_138401v150200p.pdf)

López. D. (26 de julio de 2018). Tecnología 5G, todo lo que necesita saber para entenderla. Virtual Pro. Recuperado de <https://www.revistavirtualpro.com/noticias/tecnologia-5g-todo-lo-que-necesita-saber-para-entenderla>

MICITT, (2018). REGLAMENTO AL PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS (PNAF). Recuperado de

<https://sutel.go.cr/sites/default/files/normativas/pnaf-con-reforma-41458-micitt-06-12-2018.pdf>

M. K. Samimi y T. S. Rappaport, (2016). 3-D millimeter-wave statistical channel model for 5G wireless system design, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 64, no. 7, pp. 2207–2225, Jul. 2016. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7501500/>.

OpenAirInterface. (2019). Software-defined 5G System. Recuperado de [https://www.openairinterface.org/?page\\_id=779](https://www.openairinterface.org/?page_id=779)

Puerto, L. (2017). Estudio de prospectiva en el uso de la tecnología 5G en Colombia.

Salamanca, O., y González, J. (Enero de 2016). El camino hacia la tecnología 5G. Venezuela: Universidad Rafael Belloso Chacón. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/303962862\\_El\\_camino\\_hacia\\_la\\_tecnologia\\_5G](https://www.researchgate.net/publication/303962862_El_camino_hacia_la_tecnologia_5G)

Shu Sun, Shihao Ju, and T. S. Rappaport, (2016). NYUSIM User Manual. Recuperado de [User Manual for NYUSIM\\_v1.6.1.pdf](#).

Sutel. (2018). Estadísticas del sector de telecomunicaciones. / SUTEL. 1er. ed. digital. San José, Costa Rica, 2018. Recuperado de [https://sutel.go.cr/sites/default/files/sutel\\_informe-estadisticas\\_2017\\_esp\\_0.pdf](https://sutel.go.cr/sites/default/files/sutel_informe-estadisticas_2017_esp_0.pdf)

Tikhvinskiy, Bochechka, and Gryazev. (2016). QoS Requirements as Factor of Trust to 5G Network. Recuperado de <http://www.ijfcc.org/vol6/483-GS0004.pdf>

*Tikhvinskiy V.O., Terentiev S.V., Visochin V.P. (2014). LTE/LTE Advanced mobile communication networks: 4G technologies, applications and architecture. Moscow: Media Publisher, 2014. 384 p.*

## Referencias bibliográficas

Advantel. (2017). *Conozca cómo medir la calidad de la telefonía móvil*. Recuperado de <http://blog.avantel.co/conozca-como-medir-la-calidad-de-la-telefoniamovil/>

Cordero, C. (23 de agosto de 2018). *Así funcionan las redes 5G, que ya avanza en el mundo mientras Costa Rica corre para no quedar atrás*. El Financiero. Recuperado de <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/asi-funcionan-las-redes-5g-que-ya-avanza-en-el/UV6MWI4ILZAKBDDUZH5S3OR3Y/story/>

Electronic notes, (2019) Ecuación Perdida del espacio libre. Recuperada de [www.electronics-notes.com](http://www.electronics-notes.com)

Euroforum. (17 de setiembre de 2018). *Lo que la tecnología 5G supone para las empresas*. Recuperado de <https://www.euroforum.es/blog/lo-que-la-tecnologia-5g-supone-para-las-empresas/>

Garza, J. (23 de enero de 2019). *Costa Rica comienza a coquetear con tecnologías 5G*. La República. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-comienza-a-coquetear-con-tecnologias-5g>

Gobierno Local de Heredia. (2014). *Datos generales del cantón*. Recuperado de <https://www.heredia.go.cr/es/el-canton/datos-generales>

GSMA. (2016) *Espectro 5G Posición de la GSMA sobre políticas públicas* Noviembre de 2016

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Segunda Edición. México. Editorial Mc Graw Hill.

Netquest. (2016). *Calculadora de muestra*. Recuperado de <http://www.netquest.com/es/panel/calculadora-muestras/calculadoras-estadisticas.html>

Qualcomm. (2017). Qualcomm Announces 5G NR mmWave Prototype to Accelerate Mobile Deployments for Smartphones. Recuperado de <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/09/11/qualcomm-announces-5g-nr-mmwave-prototype-accelerate-mobile-deployments>

Rodríguez, A: (3 de Julio de 2016). *Cantones de Heredia tienen las mejores condiciones de vida del país*. El Financiero. Recuperado de <https://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/cantones-de-heredia-tienen-las-mejores-condiciones-de-vida-del-pais/BPTV3VGH4RCR7IIH5QRRLQBJM4/story/>

Samsung. (2017). Samsung Announces Complete Portfolio of Commercial 5G Products and Solutions. Recuperado de <https://news.samsung.com/us/samsung-announces-complete-portfolio-commercial-5g-products-solutions/>

Universidad Internacional de Valencia. (1 de marzo de 2018). *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G*. <https://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>

Vargas, D. (2 de noviembre de 2018). *Cuatro consejos para hacer realidad el sueño 5G de Costa Rica*. El Financiero. Recuperado de <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/cuatro-consejos-para-hacer-realidad-el-sueno-5g-de/UJRGJCX7MNHKLKYRYIU7SABGL4/story/>

Zappa, J. (2018). Instalación y puesta en funcionamiento de una torre de comunicaciones para ofrecer servicios de internet en la sabana de Bogotá. Trabajo para obtener el título de ingeniero en telecomunicaciones. Bogotá: Universidad de Bucaramanga.

ZTE. (2019). Wireless products Global 5G optimization. Recuperado de <https://www.zte.com.cn/global/products>

## **GLOSARIO**

**Backbone:** Es un conjunto de rutas a las que se conectan las redes locales o regionales para la interconexión a larga distancia.

**Backhaul:** Se utiliza para indicar que los datos llegan a un punto desde el cual se pueden distribuir a través de una red.

**Black hackers:** Personas que intentan realizar delitos informáticos como el robo de información.

**Beamforming:** Es un tipo de gestión de radiofrecuencia (RF) en la que un punto de acceso utiliza varias antenas para transmitir exactamente la misma señal.

**BS (Base Station):** Estación base que tiene una determinada red.

**BSC (Base Station Controller):** El controlador de la estación base (BSC) controla y supervisa varias estaciones transceptoras base (BTS).

**DAS (Distributed Antenna System):** Es una manera de lidiar con lugares aislados de poca cobertura dentro de un edificio grande mediante la instalación de una red de antenas relativamente pequeñas en todo el edificio para que funcionen como repetidores.

**Downtime:** Tiempo que pasa en el que un servidor falla y vuelve a levantarse el servicio.

**HLR (Home Location Register):** El Registro de ubicación de origen es una base de datos de una red móvil en la que se almacena la información de todos los suscriptores móviles.

**mbar:** Es una unidad de presión equivalente a una milésima parte del bar, un bar es igual a 1000 (mil) milibares.

**gNBs:** Estaciones base de la tecnología 5G para la creación de la red interna.

GPRS (General Packet Radio Service): Es una tecnología para el soporte del tráfico de conmutación de paquetes en una red GSM.

MEC (Multi-access Edge Computing): Estándar que ofrece capacidades de computación en la nube y un entorno de servicio de TI al borde de la red.

MIMO (Multiple Input Multiple Output): Tecnología que tiene soporta las múltiples entradas y múltiples salidas de datos.

MSC (Mobile Switching Center): Es una central telefónica que realiza la conexión entre usuarios móviles dentro de la red.

SDN (Software Defined Network): Red que utiliza lenguaje de programación para ser configurada.

SGSN (Serving GPRS Support Node): Es un componente principal de la red GPRS, que maneja todos los datos de paquetes conmutados dentro de la red

Streaming: Casteo de señales de video y audio por medio de internet.

Packet Switching: Es un método de comunicaciones de redes digitales que agrupa todos los datos transmitidos en bloques de tamaño adecuado, llamados paquetes, que se transmiten a través de un medio que puede ser compartido por múltiples sesiones de comunicación simultáneas.

PDN (Private Data Network): Una red establecida y operada por una administración de telecomunicaciones.

Uptime: Tiempo en el que un servidor está funcional sin ningún tipo de fallo.

## ANEXOS

### Anexo 1: Leyes que involucran la instalación de las redes 5G

9	Planos de Construcción debidamente aprobados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos y por las instituciones de revisión.	Ley Orgánica del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos Ley No 3663
10	El uso de suelo conforme a la solicitud de permiso de construcción.	Artículo 28 de la Ley de Planificación Urbana( L.P.U)
11	Alineamiento municipal o del MOPT según corresponda (obras frente a Carretera Nacional ó Vía Férrea en el Departamento de Previsión Vial del MOPT).	Artículo 18 del Reglamento de Construcciones
16	La Viabilidad Ambiental de SETENA para las obras de construcciones mayores a 300 m2. En el caso de edificaciones desarrolladas de forma individual, se requiere la Viabilidad Ambiental para construcciones mayores de 500 m2 y otras actividades u obras que se consideren como de muy bajo impacto ambiental potencial de conformidad con lo establecido por SETENA.	Resoluciones 2370-2004- SETENA derogada; 583-2008- SETENA; Decreto Ejecutivo 32079- MNAE y 32712- MINAE

17	El Alineamiento del INVU, para propiedades que colinden con Ríos, Quebradas y otros cuerpos de agua, cuando aplique.	Gaceta # 181 del 16/09/2004. Art.33 Ley Forestal
18	Alineamiento del ferrocarril por parte de INCOFER, en caso de que la propiedad colinde con una línea de tren, cuando aplica.	Artículo 18 de la Ley de Construcciones y su Reglamento, Art. III.2.3; Art.III.2.6 del R.C.N.F.U, Reglamento sobre las dimensiones de los derechos de vía en los ferrocarriles nacionales Decreto N°22483-MOPT articulo N 1. Art.III.2.7.6 R.C.N.F.U
19	Alineamiento de zona de protección de nacientes y pozos del Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía	Artículo 33 de la Ley Forestal
20	Alineamiento de RECOPE, para toda obra de infraestructura que se realice frente a la ruta N°1 y N°108.	Procedimiento para el Otorgamiento de Alineamientos al Poliducto de RECOPE
21	Autorización de alturas por afectación de zonas de aterrizaje de aeropuertos - DGAC	Artículo 96 de la Ley 5150 de Aviación Civil



**HOJA GUARDA**