

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

*Tesis para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Informática*

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
5G EN COSTA RICA**

Sustentante:

Alexander Santana Castro

Tutor:

Raúl Chang Tam

Junio, 2020

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vii
DEDICATORIA.....	xiii
AGRADECIMIENTOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1 Antecedente del problema.....	2
1.1.2 Problematización.....	3
1.1.3 Justificación del proyecto.....	6
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1 Problema General.....	15
1.2.2 Problemas Específicos.....	15
1.3 Objetivos de la investigación.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 Alcances y Limitaciones.....	22
1.4.1 Alcances.....	22
1.4.2 Limitaciones.....	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Contexto Histórico – Antecedentes.....	27
2.2 Contexto Teórico – Conceptual.....	29
2.2.1 Espectro Electromagnético.....	29
2.2.2 Espectro Radioeléctrico.....	30
2.2.3 Bandas de Frecuencia.....	31
2.2.4 Tecnologías Inalámbricas.....	33
2.2.5 Telefonía Móvil.....	34
2.2.6 Tecnología 5G.....	35
2.2.7 Latencia.....	37
2.2.8 Internet de las Cosas - IoT.....	39
2.2.9 Big Data.....	41

2.2.10	Realidad virtual	42
2.2.11	Robótica	44
2.2.12	Smart Cities	45
2.2.13	Industria 4.0	47
2.2.14	NarrowBand IoT	49
2.2.15	Cloud computing	50
2.2.16	FOG Computing	51
2.2.17	Edge computing	54
2.2.18	Software Define Network (SDN).....	56
2.2.19	5G Network Slicing	58
2.2.20	IaaS.....	59
2.2.21	SaaS.....	61
2.2.22	PaaS.....	62
2.2.23	NaaS.....	64
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		66
3.1	Tipo de investigación	67
	Enfoque de la investigación	68
3.2	Fuentes de información	69
	Fuentes Primarias	69
	Fuentes Secundarias	70
	Sujetos de Información	71
3.3	Técnicas y herramientas de recolección de datos.....	72
3.4	Variables de investigación.....	74
	Definición conceptual	74
	Definición Operacional.....	75
	Definición Instrumental	75
	Cuadro de Variables.....	75
3.5	Diseño de la investigación.....	77
3.6	Matriz de coherencia	79
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		81
4.1	Descripción de la situación actual	82
	Diagnóstico Técnico (Infraestructura)	84
	Diagnóstico de Recursos Laborales (Recurso Humano)	85

Diagnóstico de Inversión (Financiero)	86
Diagnóstico Social (Socioeconómico)	88
Diagnóstico Científico (Tecnológico)	91
Diagnóstico Administrativo u Operativo (Legal / Regulatorio)	93
Diagnóstico de oportunidad en el mercado nacional.....	98
4.2 Recolección de datos	108
4.3 Determinación de brechas	110
4.4 Retos:	111
4.5 Terminales 5G Disponibles en el Mercado	114
4.6 Avances	116
4.7 Análisis del costo de desarrollo	117
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE PROYECTO	119
CASOS DE USO	127
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO	130
CONCLUSIONES.....	131
RECOMENDACIONES.....	133
CAPÍTULO VII: APÉNDICES Y ANEXOS	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. LISTADO DE PROBLEMAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	17
TABLA 2. BANDAS DE RADIOFRECUENCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	32
TABLA 3. SUJETOS DE INFORMACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	72
TABLA 4. CUADRO DE VARIABLES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	76
TABLA 5. ESQUEMA DE MATRIZ DE COHERENCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	80
TABLA 6. SISTEMA NACIONAL DE REGISTRO DE INFRAESTRUCTURA Y MAPA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES. FUENTE: MICITT 2014.....	98
TABLA 7. PREGUNTA 1 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99
TABLA 8. PREGUNTA 2 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	100
TABLA 9. PREGUNTA 3 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	101
TABLA 10. PREGUNTA 4 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	102
TABLA 11. PREGUNTA 5 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	102
TABLA 12. PREGUNTA 6 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	103
TABLA 13. PREGUNTA 7 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	104
TABLA 14. PREGUNTA 8 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	105
TABLA 15. PREGUNTA 9 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	106
TABLA 16. PREGUNTA 10 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	107
TABLA 17. TABLA DE COSTOS DEL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE ISHIKAWA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	5
FIGURA 2. ÁRBOL DE PROBLEMAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	18
FIGURA 3. ÁRBOL DE OBJETIVOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	20
FIGURA 4. BANDAS DE FRECUENCIA. RECUPERADO DE: HTTP://WWW.CONATEL.GOB.VE/ESPECTRO-RADIOELECTRICO/	32
FIGURA 5. CLASIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS. RECUPERADO DE: HTTPS://ES.CCM.NET/CONTENTS/818-REDES-INALAMBRICAS	34
FIGURA 6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PING HACIA LOS DNS PÚBLICOS DE GOOGLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	38
FIGURA 7. REVOLUCIONES INDUSTRIALES. ORTIZ, L (2018), P.69	47
FIGURA 8. FRAMEWORK DEL FOG COMPUTING. CHAO, K (2019), P.103	52
FIGURA 9. EDGE COMPUTING Y CLOUD COMPUTING. SITTON-CANDANEDO, I., & CORCHADO, J. (2019) P.36	55
FIGURA 10. DATA PLANE CENTRALIZADO Y UN DATA PLANE DISTRIBUIDO. ODOM, W. (2017). P.767.....	57
FIGURA 11. CATÁLOGO DE PRODUCTOS XAAS. RECUPERADO DE: HTTPS://AZURE.MICROSOFT.COM/EN-IN/OVERVIEW/WHAT-IS-PAAS/	63
FIGURA 12. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
FIGURA 13. ESPECTRO DISPONIBLE 5G EN UK, FRANCIA, ITALIA, CHINA, KOREA, JAPÓN Y AUSTRALIA. FUENTE: ERICSSON LATAM.....	95
FIGURA 14. ESPECTRO DISPONIBLE 5G EN US, CANADÁ, CHILE, BRAZIL, ARABIA SAUDITA, UAE, RUSIA Y SUDÁFRICA. FUENTE: ERICSSON LATAM.	95
FIGURA 15. LÍNEA CRONOLÓGICA DE DESARROLLO DE TERMINALES. FUENTE: HUAWAI TECHNOLOGIES.	114
FIGURA 16. TERMINALES MÓVILES 5G DISPONIBLES EN ENERO 2020. FUENTE: ERICSSON LATAM.	115
FIGURA 17. ESTRUCTURA DEL MODELO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	121

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. PREGUNTA 1 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99
GRÁFICO 2. PREGUNTA 2 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	100
GRÁFICO 3. PREGUNTA 3 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	101
GRÁFICO 4. PREGUNTA 4 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	102
GRÁFICO 5. PREGUNTA 5 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	103
GRÁFICO 6. PREGUNTA 6 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	104
GRÁFICO 7. PREGUNTA 7 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	105
GRÁFICO 8. PREGUNTA 8 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	106
GRÁFICO 9. PREGUNTA 9 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	107
GRÁFICO 10. PREGUNTA 10 DE ENCUESTA APLICADA A CLIENTES EMPRESARIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	108

DECLARACIÓN JURADA

Yo Alexander Santana Castro, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1184-0255 egresado de la carrera de Ingeniería Informática con énfasis en Sistemas de Información de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Licenciatura, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G EN COSTA RICA, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 06 días del mes de abril del año dos mil veinte.



Firma del estudiante

Cédula: 1-1184-0255

CARTA DEL TUTOR

San José, 04de abril de 2020

ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA
Licenciatura en Ingeniería en Informática
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Alexander Santana Castro**, cédula de identidad número 1-1184-0255, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G EN COSTA RICA**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de **Licenciatura**.


En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	30
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	20
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20
	TOTAL		100

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,



Mba. Ing. Raúl Javier Chang Tam
Cédula identidad 8-0067-0755

CARTA DE LECTOR

San José,

**Universidad Hispanoamericana
Sede Llorente
Carrera de Ingeniería en Informática**

Estimado señor

El estudiante **Alexander Santana Castro**, cédula de identidad **1-1184-0255**, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "**Desarrollo de un modelo para la implementación de la tecnología 5g en Costa Rica**", el cual ha elaborado para obtener su grado de **Licenciatura**.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atte.

Firmado digitalmente por: RAQUEL JUDITH
CORDOBA SANABRIA (FIRMA)
Fecha y hora: 26.05.2020 17:18:18

Julián Raquel Córdoba Sanabria

Cédula: 109640134

Carné: 3272

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, viernes 6 de junio, 2020

Señores:

Universidad Hispanoamericana

Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Alexander Santana Castro con número de identificación 1-1184-0255 autor (a) del trabajo de graduación titulado **DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 5G EN COSTA RICA** presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Informática; SI autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



Ced.: 1-1184-0255

Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las “Condiciones de uso de estricto cumplimiento” de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien me ha dado la posibilidad de desarrollarme profesionalmente a lo largo de estos años, brindándome la capacidad y el discernimiento para superar los diferentes retos enfrentados durante mi vida, tanto académica como profesional. A mis padres, quienes me dieron la vida, educación, consejo y apoyo en todo momento para nunca rendirme en el camino, por más difícil que este pareciera. A mis hermanos, quienes han sido un gran apoyo y ejemplo por seguir en sus decisiones. A mi compañera de vida, quien siempre ha estado a mi lado apoyándome e impulsándome a seguir siempre adelante. Finalmente, a mis amigos y compañeros, quienes siempre han estado a mi lado siendo un soporte cuando los he necesitado. A todos ellos agradezco y dedico este logro tan importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una meta más establecida en mi vida, que con el apoyo de mis padres, familiares y pareja he logrado superar siendo perseverante en mi camino, es por esto que también a ellos les agradezco ese apoyo brindado. Siento gran gratitud también por mis profesores y en especial, mi tutor, que me ha guiado a lo largo de la etapa final del proceso para alcanzar el éxito en este proceso.

Finalmente, agradezco a mis amigos que, de una u otra forma, siempre han estado a mi lado apoyando y brindando una mano cuando así lo he requerido, brindándome de su tiempo e información para el logro de mis objetivos.

RESUMEN

Este documento presenta el desarrollo de un modelo de implementación de la tecnología 5G en Costa Rica, aplicable al entorno de las telecomunicaciones, sin la intención de enfocar el desarrollo sobre ninguna entidad o plataforma concreta, sino en cambio, presentar un panorama amplio, a nivel país, con los obstáculos y compromisos, adaptando las implementaciones conocidas en entornos externos a nuestro país.

El principal reto es el de habilitar las condiciones necesarias para que las empresas de telecomunicaciones puedan iniciar con las proyecciones y trabajos requeridos para preparar las redes a entornos nativos de la tecnología 5G, cuyo desarrollo ha sido reducido en algunas pocas economías mundiales, debido a lo novedoso e innovador que es la tecnología, que aún tiene a las organizaciones trabajando en nuevas versiones, denominados releases, que establezcan mejoras a su funcionalidad.

En el país no se ha brindado la importancia requerida por parte de los entes correspondientes para poder cuantificar un avance sustancial que se materialice en oportunidades de desarrollo por parte de las empresas de telecomunicaciones; aún y cuando se han tomado medidas y ejecutado acciones en pro de facilitar los medios para el despliegue, es mucho lo que está pendiente por realizarse y poder avanzar a un velocidad que cumpla con las fechas estipuladas a nivel mundial donde se pueda contar con redes 5G, la cual los desarrolladores del estándar y miembros organizativos del 3GPP, esperaban fuese el año 2020.

El modelo se desarrolló bajo algunas limitantes, descritas en el apartado de limitaciones, no obstante, a partir de su aplicación se espera facilitar el flujo y medios requeridos para que el

mercado pueda contar pronto con una herramienta necesaria como lo es una red de telecomunicaciones con tecnología de punta.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de la tecnología 5G ha sido un reto para las diferentes empresas de telecomunicaciones alrededor del mundo en los ambientes donde se han desarrollado pruebas. El análisis de la situación actual en nuestro entorno, y las necesidades que requieren atención, se determinarán con base en experiencias compartidas y la tropicalización de estos problemas a la infraestructura de las redes operativas en el país. Con base en este análisis, se desarrollará un modelo a seguir que identifique las necesidades para la ejecución de la tecnología 5G en el país.

1.1.1 Antecedente del problema

Con la ejecución del proyecto no se limita a un impacto dentro de una organización, sino que va más allá y se busca un beneficio a nivel país, que podría ser aprovechado por las diferentes empresas de telecomunicaciones con operaciones dentro del territorio nacional y que planeen la ejecución de proyectos en las tecnologías 5G.

Al no existir un precedente en el país de una implementación previa de una red 5G, y definir un escenario tan particular, en comparación con el desarrollo de otras nuevas tecnologías, donde 5G presenta un reto aún mayor, debido a sus exigencias tecnológicas; se debe enfocar la investigación en implementaciones en entornos externos al nuestro, cada uno con problemas muy ligados a la sociedad donde se hayan desarrollado, debiendo de esta forma adaptar y traer a lo nacional las diversas actividades y complicaciones identificadas. Se puede reforzar este argumento con el hecho de que aún el estándar 5G se encuentra en proceso de desarrollo por las diferentes empresas de tecnología y 3GPP.

Y es como fue señalado por J. Gonzáles (2016) “Para el período comprendido desde el año 2016 hasta el año 2019, se pauta la creación de estándares y prototipos por parte de los entes, organizaciones e instituciones por medio del intercambio de los resultados obtenidos en sus respectivos proyectos. Para finalizar, desde el año 2020 en adelante, se tiene previsto las pruebas y desarrollo comercial de esta tecnología.” (p. 14) y se sigue trabajando bajo este cronograma, hoy en día sigue siendo una incertidumbre un despliegue definitivo de la tecnología o al menos fechas establecidas para contar con un producto final.

1.1.2 Problematización

La tecnología 5G se encuentra en pleno desarrollo, estando aún pendiente la definición de un estándar 100% definitivo a ser implementado y que defina las pautas finales sobre las cuales serán implementadas las diferentes redes de telecomunicaciones alrededor del mundo. Detrás de todas estas implementaciones, aparecen consigo una serie de retos, que poco a poco van surgiendo conforme se han ido realizando pruebas e implementaciones en países catalogados como potencias a nivel tanto económico como tecnológico como lo son Japón, España, China, Corea del Sur y Estados Unidos, pioneros en el desarrollo.

Este tipo de retos e implicaciones, son más desafiantes cuando pensamos en un país como el nuestro, donde no se cuenta con una infraestructura tan robusta, ni con el potencial económico para realizar inversiones que puedan llegar a facilitar el despliegue de una red 5G. Aunado a esto, la necesidad de contar con un músculo tecnológico lo suficientemente robusto para tener la capacidad de mejorar las condiciones mínimas requeridas, el país cuenta con un rezago a nivel organizacional, involucrando temas incluso políticos que deben ser resueltos previos a la puesta en marcha de un plan de las dimensiones que exige una red a nivel 5G nacional.

Las exigencias y requerimientos de las redes 5G, aún y cuando está pendiente la liberación de nuevos releases, que se espera un adelanto importante durante el año 2020, serán expuestas conforme se avance en la investigación y consigo las implicaciones y retos, tanto para las empresas de telecomunicaciones, como para el país y todas las organizaciones involucradas.

Es a partir de estos retos que se plantea el desarrollo de un modelo a seguir tanto por las diferentes empresas de telecomunicaciones que operan en el país, como por el gobierno, para facilitar el despliegue de un proyecto con la magnitud y retos implícitos en las diferentes áreas involucradas.

Para el análisis de la situación actual y la identificación de los problemas se hizo uso del método del Caso (MdC) que es una técnica de aprendizaje activa, centrada en la investigación del estudiante sobre un problema real y específico que ayuda al operario a adquirir la base para un estudio inductivo (Boehrer & Linsky, 1990). Parte de la definición de un caso concreto para que el operario sea capaz de comprender, de conocer y de analizar todo el contexto y las variables que intervienen.

Haciendo uso del método, se presenta a continuación el Diagrama de Ishikawa, herramienta que ayuda a identificar y categorizar las causas-raíces del problema en análisis.

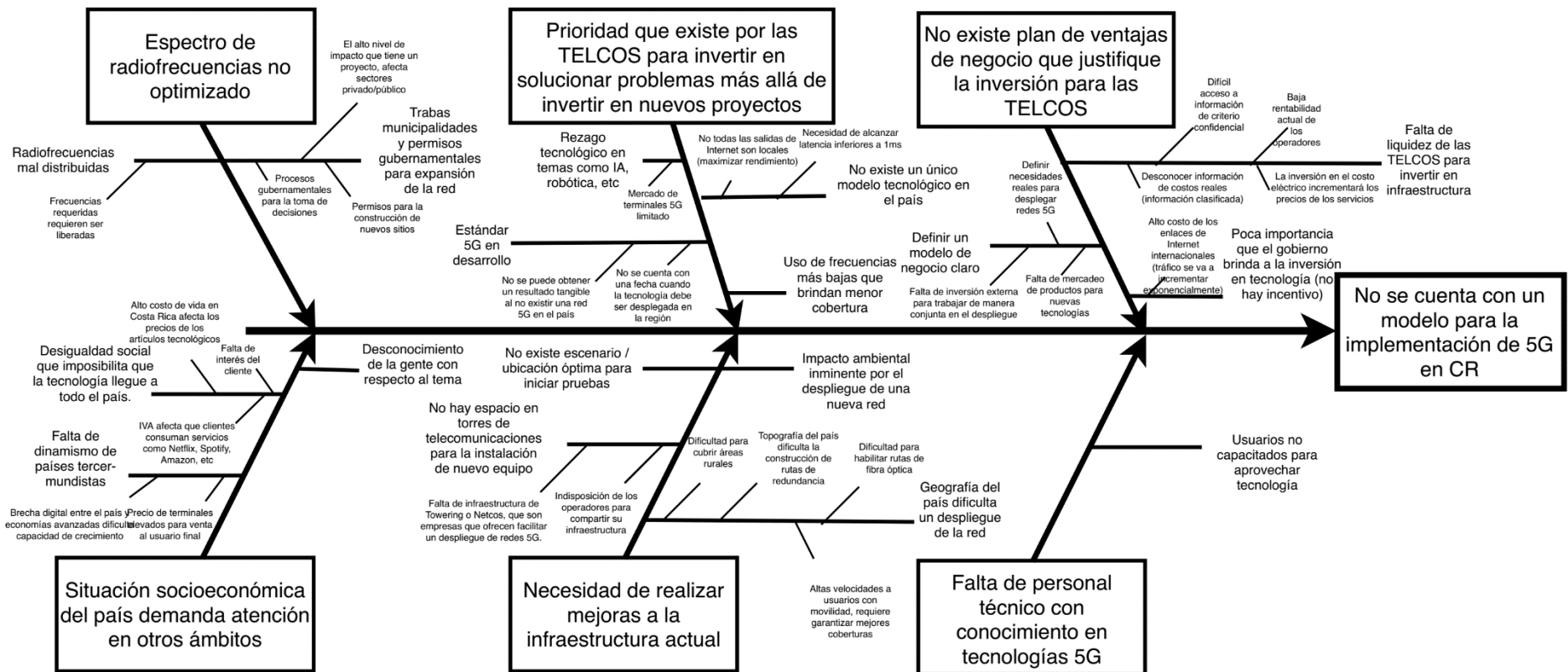


Figura 1. Diagrama de Ishikawa. Fuente: Elaboración propia.

1.1.3 Justificación del proyecto

Los avances tecnológicos son necesarios para el crecimiento de un país y es con la puesta en marcha de proyectos con tecnologías innovadoras, como lo es la tecnología 5G, que un país evita un rezago no solo tecnológico, sino también económico, al competir en desventaja contra otros países que realizan inversiones para mantenerse actualizados y proporcionar herramientas de primer mundo a empresas y negocios interesados en invertir.

Para lograr el éxito en este tipo de implementaciones y proyectos, existen muchos factores a considerar, como son de criterio económico, legal, tecnológico, social y otros, que se irán descubriendo conforme la investigación avance, factores que se desarrollarán para obtener un compilado de información importante a considerar por los diferentes entes y de esta manera minimizar las complicaciones implícitas durante la puesta en marcha de las diferentes redes 5G en Costa Rica. Parte de los protagonistas en este proyecto, también es el gobierno, quien debe facilitar las condiciones a los TELCOs (compañías que brindan servicios de telefonía), las instrucciones de acatamiento internacional, donde los “Operadores de Red Móviles (MNO) deben pagar por el derecho de transmitir y recibir datos usando estos medios compartidos en cada país donde operan. Para ampliar la tubería de datos inalámbricos, los MNO deben procurar licencias adicionales para usar dentro del espectro de frecuencia asignada” (2017), y estos son administrados por entes estatales y esperan ser liberados para posteriormente distribuirlos, tarea 100% gubernamental.

Además, cabe destacar el impacto a nivel país sobre el que se repercute con la introducción de tecnologías tan innovadoras como las redes 5G, que prometen ventajas en infinidad de aplicativos, tanto para usuarios finales, como para empresas y población en general.

A partir de esto, se estima que con el desarrollo del proyecto y siguiendo las recomendaciones obtenidas posterior al análisis, el beneficio lo obtendrán las diferentes empresas de telecomunicaciones que operan bajo la legislación costarricense.

Y es que podemos decir que las áreas beneficiadas directamente son las propias empresas de telecomunicaciones, por su remuneración económica, sin embargo, el país recibirá también incontables beneficios y por ende toda su población, la oportunidad de negocio detrás de la evolución tecnológica y más aún el impacto de 5G, que promete una transformación digital completa, afectando áreas como la automoción (conducción asistida), la salud, el transporte, los videos juegos, la inteligencia artificial y otras, que se irán detallando conforme el proyecto avance.

Para lograr un mejor entendimiento de los problemas identificados, se categorizan con base al área de impacto donde mayormente repercuten, definiendo 6 diferentes categorías.

- **Infraestructura:** identifica los problemas relevantes al conjunto de servicios, arquitectura, obras, diseño de la red y otros elementos presentes en el escenario actual y que requieren algún tipo de modificación o mejora, esto para lograr un entorno capaz de soportar los requerimientos de las redes 5G.

- **Recurso Humano:** categoría correspondiente meramente a las personas y la organización, y su capacidad para involucrarse dentro de las diferentes áreas durante el despliegue de la nueva red. Se requiere contar con el personal calificado en las diferentes áreas, no solo tecnológica, y agilizar el proceso, minimizando el impacto de los imprevistos. Además, como organización se requiere una estrategia que impulse el desarrollo tecnológico.

- **Financiero:** se requiere una fuerte inversión de capital para implementar una red con tecnología de punta, como la ofrecida por 5G. Administrar las finanzas requiere de las habilidades

correspondientes, el respaldo de que la inversión traerá consigo un beneficio que a mediano o largo plazo justifique el gasto realizado, asignar prioridades según necesidades de la empresa. Todos estos factores y otros, deben estar claramente definidos por las compañías para asegurar una estabilidad financiera a largo plazo, y que las expectativas con el despliegue de la red 5G sean cumplidas y mejoren la posición de la compañía en el mercado.

- Socioeconómico: se dice que los problemas económicos están muy relacionados a los problemas sociales, debido al impacto que generan sobre la población, desencadenando en pobreza, desempleo, cambio en las prioridades del pueblo, generan tensión e inestabilidad social, lo que dificulta la predicción de resultados esperados en proyectos de segunda o tercera necesidad, como en este caso, donde las telecomunicaciones se pueden calificar como una necesidad de primer nivel, sin embargo, contar con una red con tecnología de punta no es una necesidad prioritaria.

- Tecnológico: la tecnología ha evolucionado de manera exponencial en la última década, cada día existe una mayor dependencia para mantenernos conectados, y este es el objetivo primordial que se espera satisfacer con el despliegue de una red 5G en Costa Rica. No obstante, el país no se encuentra posicionado entre los pioneros en el campo de los aportes en avances tecnológicos, al contrario, el país está un poco rezagado cuando nos comparamos con países como Estados Unidos que si han realizado inversiones en este ámbito, debido a esto, existen varios retos que se deben enfrentar para posicionarnos mejor en el mercado tecnológico.

- Legal / Regulatorio: vivimos en una sociedad colmada de trámites, permisos, trabas, burocracia, que dificulta un flujo ágil en los diferentes procesos. Diferentes instituciones públicas están encargadas de administrar los diferentes recursos necesarios para el desarrollo de un proyecto de telecomunicaciones, como, por ejemplo, la distribución de frecuencias de radio o la

concesión de permisos de construcción en áreas tanto rurales como urbanas, decisiones que requieren ser más expeditas para evitar contratiempos durante las implementaciones. Se espera que el gobierno sea un facilitador de medios y no un obstáculo en el proyecto.

Identificación de datos relevantes

Basados en la agrupación realizada de los problemas dentro de las diferentes categorías, se han identificado los datos más relevantes por cada uno de los puntos en el listado inicial, detallando a continuación los considerados principales:

- *“Necesidad de realizar mejoras a la infraestructura actual”*
- *“No existe plan de ventajas de negocio que justifiquen la inversión para las TELCOS”*
- *“Espectro de radiofrecuencias no optimizado”*

De los datos relevantes, resalta el impacto que tiene la necesidad de liberar el medio de transporte para poder habilitar una red de telecomunicaciones, definiéndose como el problema focal para poder realizar una implementación satisfactoria de la tecnología 5G en Costa Rica.

Sin dejar de lado la necesidad de realizar los trabajos de mejora sobre la infraestructura, y es que las optimizaciones que requiere la red actual engloban problemas en todas las categorías, requiriendo personal humano calificado para desarrollarlas, una inversión económica importante, una justificación soportada para realizar esta inversión, contar con la tecnología requerida para la implementación, entre otros.

Análisis de datos

Infraestructura

“Necesidad de realizar mejoras a la infraestructura actual”

La infraestructura actual de las diferentes empresas de telecomunicaciones no cuenta con la capacidad de soportar el crecimiento exponencial implícito en el despliegue de una red 5G, además de no satisfacer la exigencia de las características descritas por la nueva tecnología, como, por ejemplo, los tiempos de respuesta requeridos. Por otro lado, se requiere ampliar la cobertura brindada y modificar la infraestructura actual para lograrlo a lo ancho del territorio nacional. Adicionalmente, el nuevo espectro de radio requerido modificará la capacidad de lo que se conoce como mancha de cobertura o área de alcance soportada por cada radio base móvil, debido a que utilizará frecuencias de radio más bajas y con menor alcance, este es otro factor que debe considerarse.

Y es que la topografía del país presenta un obstáculo adicional para lograr la expansión de la red, debido al difícil acceso a algunas zonas, en lo que respecta a redes de fibra óptica, siendo viable como única opción, la implementación de enlaces de radio inalámbrico, que, por lo irregular de los terrenos, reduce la capacidad en la distancia cubierta, inclusive cuando la tecnología permitiese abarcar mayores distancias y lograr un mayor aprovechamiento de cada enlace. Cabe mencionar que el uso de enlaces de radio no es recomendado para las implementaciones 5G por su menor capacidad de ancho de banda en comparación con los medios de fibra óptica.

Otro aspecto desafiante, es la selección del escenario óptimo para el desarrollo de pruebas, donde se vaya a implementar el proyecto, buscando maximizar el uso de la red y presentar un

producto final viable a nivel de resultados y con esto continuar con las siguientes fases de implementación.

Financiero

“No existe plan de ventajas de negocio que justifiquen la inversión para las TELCOS”

El músculo financiero de las empresas de telecomunicaciones se ha visto debilitado por el inesperado resultado obtenido a partir de las diferentes inversiones realizadas, hoy en día, hemos visto como los clientes han ido modificando sus preferencias y consigo se han vuelto cada vez más nómadas y menos fieles a las empresas, como en el pasado si sucedía, esto debido en gran parte a la portabilidad numérica ofrecida en el país hoy en día y la gran oferta de productos a disposición del usuario.

Además, se han realizado inversiones en diferentes proyectos que tampoco han contribuido con el fortalecimiento de las finanzas de las empresas, como, por ejemplo, la red 4G, que no ha dado los réditos esperados. Desde otro ángulo, reciben solicitudes de los entes gubernamentales en implementaciones con costos adicionales, esto para estar dentro del marco de cumplimiento solicitado para operar en el país y que fue previamente acordado dentro de los correspondientes contratos. Ejemplo de esto es que se debe asegurar el acceso a un porcentaje predefinido de la población, sin importar su ubicación geográfica o estatus social, con el propósito de garantizar igualdad de acceso a medios tecnológicos y posibilidades de desarrollo.

Para soportar la inversión, se debe desarrollar un modelo de negocio en busca de identificar los escenarios donde se minimice el riesgo e impulse el uso de la tecnología, y con ello elevar los ingresos, reduciendo tiempos de recuperación de la inversión.

Legal / Regulatorio

“Espectro de radiofrecuencias no optimizado”

La tecnología 5G ha sido diseñada para trabajar bajo espectros de ancho de banda específicos, los cuales actualmente están en uso o han sido distribuidos a diversas compañías o servicios, por lo que se requiere reacondicionar el espectro para liberar y posteriormente distribuirse entre las empresas de telecomunicaciones para su aprovechamiento. Este trabajo debe ser ejecutado por los entes gubernamentales correspondientes, encargados de administrar las bandas de radio, donde, para efectos de nuestro país, corresponde a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Por otro lado, se requiere la construcción de nuevas radio bases para la expansión de la red, lo que implica la necesidad de contar con los permisos correspondientes de construcción, que deben ser otorgados principalmente por gobiernos locales, cada uno de estos con sus políticas propias, que generan trámites lentos y atrasos inesperados en cronogramas. Costa Rica se identifica por ser un país con muchos procesos burocráticos que ralentizan el crecimiento social y económico.

Recurso Humano

“Falta de personal técnico con conocimiento en tecnologías 5G”

Por si misma, la tecnología 5G es innovadora y el estándar se encuentra en etapa de desarrollo. Costa Rica no es un país que históricamente se haya destacado por aportes en el campo tecnológico, esto más allá de la inversión extranjera. En el país no hay una industria que se haya

dado la tarea de desarrollar modelos de redes 5G, sino que hemos sido actores pasivos de economías pioneras, normalmente a la espera que estas hayan sido validadas. Por esto no podemos ser considerados una potencia tecnológica, no contamos con los medios para contribuir en un desarrollo de esta índole. Estas y otras razones dan como resultado que nuestros expertos no se encuentren involucrados en estos desarrollos y son escasos los profesionales que cuentan con experiencia real en el tema, la mayoría de estos, con conocimiento adquirido de experiencias en mercados extranjeros.

Para la realización exitosa de una red 5G, es mucho el personal involucrado, en muchas áreas, no solo en el ámbito tecnológico, así que la capacitación o preparación de los profesionales, es un factor a considerar durante todas las fases del proyecto.

Tecnológico

“Prioridad que existe por las TELCOS para invertir en solucionar problemas actuales, más allá de invertir en nuevos proyectos”

La infraestructura actual de las diferentes empresas de telecomunicaciones no se encuentra en un estado de desarrollo optimizado, existen muchos trabajos que se han ido postergando, dando prioridad a los que mayor impacto generan a la población, o en su defecto, mayor beneficio le generen a sus finanzas. Y es que el mantenimiento que exige una red de telecomunicaciones es considerable, exigiendo a las empresas a trabajar bajo una definición de prioridades, que, evidentemente, siempre serán las de soportar la infraestructura actual, que es lo que genera réditos a sus finanzas.

Por otro lado, y como se ha mencionado previamente, aún no se cuenta con un estándar definido, que se espera esté listo para el año 2020. Este detalle dificulta realizar predicciones

concretas de las necesidades y mejoras requeridas, debiendo de esta forma, trabajar bajo escenarios inciertos, aunque sí cercanos a la realidad, dado por las pruebas realizadas en diferentes mercados, estando pendiente la liberación de releases para casos de uso de la tecnología.

Finalmente, conocemos las limitaciones a nivel país en temas tecnológicos, no contamos con una infraestructura de primer mundo, ni podemos competir con potencias mundiales, lo que nos deja en un escenario de desventaja con respecto a otras naciones, donde ya se cuenta con un desarrollo tecnológico superior, y, por ende, la necesidad real de contar con mayores y mejores conexiones, como las ofrecidas por las redes de tecnología 5G. Países con desarrollos tecnológicos más avanzados, cuentan con lo que se conoce como ciudades inteligentes, donde la cantidad de dispositivos conectados sobrepasa la capacidad de acceso brindado por redes móviles actuales.

Socioeconómico

“Situación socioeconómica del país demanda atención en otros ámbitos”

La situación que enfrenta el país en la actualidad tiene su foco en una problemática social, urgiendo realizar inversiones y enfocar los esfuerzos en solucionar problemas de índoles diferentes a avances meramente tecnológicos. La economía del país y del mundo se ha visto afectada por dificultades económicas, que han traído consigo otros problemas de desigualdad social, pobreza y consigo inseguridad, tal es el caso del virus que azota la población mundial, el COVID-19. Estos temas tienen a las diferentes autoridades enfocando sus esfuerzos en la búsqueda de soluciones, reduciendo su capacidad de impulsar otros temas, como la tecnología.

Esta situación descrita anteriormente, limita el dinamismo de la economía de un país, y, por ende, los avances y el posicionamiento del mercado ante un entorno donde se compite por

contar con una estructura tecnológica robusta, que busque ofrecer mejores oportunidades a las empresas para iniciar nuevas operaciones.

Otro factor que dificulta el crecimiento de la red, son los altos precios de este tipo de dispositivos, como, por ejemplo, las terminales utilizadas por los clientes, que, se estima que los mismos se encuentren por arriba del costo de los teléfonos móviles en la tecnología 4G.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

La implementación de redes 5G alrededor del mundo ha demostrado varias complicaciones conforme se ha avanzado en su despliegue, retos que varían según la sociedad y entorno sobre el cual se pretende trabajar, no limitándose únicamente a criterios de alcance monetario, sino yendo más allá, debido a que incluso se ha desarrollado en países de primer mundo, con capital suficiente para satisfacer todas las necesidades de inversión que se han presentado.

Basado en esta experiencia nace la pregunta **¿Esta Costa Rica preparada para la implementación de tecnologías 5G y se han considerado las necesidades reales para poner en marcha una implementación de esta tecnología?**

1.2.2 Problemas Específicos

Para poder responder a la incógnita de si esta Costa Rica preparada para una implementación de la magnitud de un proyecto con estas dimensiones y los correspondientes retos esperados, debemos antes contestar algunas otras interrogantes, como, por ejemplo:

- ¿Cuentan los proveedores de servicios de telecomunicaciones del país con una infraestructura lo suficientemente robusta para satisfacer los requerimientos de las redes 5G?
- ¿Se cuenta con las frecuencias de radio necesarias y se encuentran estas disponibles para ser utilizadas por las redes 5G?
- ¿Existe algún impedimento legal que deba ser cubierto para facilitar un entorno de desarrollo óptimo por las partes involucradas, ya sea gobierno, empresa pública o privada?
- ¿Tenemos una cultura en el país que explote toda la capacidad que ofrece no solo una, sino las diferentes redes que se esperan sean desplegadas por las empresas de telefonía móvil en un entorno de competencia comercial?
- ¿Existe una necesidad real en el país por contar con redes tecnológicamente tan avanzadas como lo es la tecnología 5G?

A continuación, la siguiente tabla presenta el listado de los problemas considerados para la elaboración de los árboles de problemas y de objetivos, a partir del análisis de la situación e información obtenida del diagrama de Ishikawa y del Modelo de Casos previamente desarrollado.

Problema	Área	Nivel
No existe plan de ventajas de negocio que justifique la inversión para las TELCOS	Financiero	1
Falta de liquidez de las TELCOS para invertir en infraestructura	Financiero	2
No hay un modelo de negocio claro	Financiero	2
Poca importancia que el gobierno brinda a la inversión en tecnología (no hay incentivo)	Financiero	2
Alto costo de los enlaces de Internet internacionales (tráfico se va a incrementar exponencialmente)	Financiero	3
Baja rentabilidad actual de los operadores	Financiero	3
Desconocer información de costos reales (información clasificada)	Financiero	3
Difícil acceso a información de criterio confidencial	Financiero	3
Falta de inversión externa para trabajar de manera conjunta en el despliegue	Financiero	3
Falta de mercadeo de productos para nuevas tecnologías	Financiero	3
La inversión en el costo eléctrico incrementará los precios de los servicios	Financiero	3
No se han definido necesidades reales para desplegar redes 5G	Financiero	3
Necesidad de realizar mejoras a la infraestructura actual	Infraestructura	1

Geografía del país dificulta un despliegue de la red	Infraestructura	2
Impacto ambiental inminente por el despliegue de una nueva red.	Infraestructura	2
No existe escenario / ubicación óptima para iniciar pruebas	Infraestructura	2
No hay espacio en torres de telecomunicaciones para la instalación de nuevo equipo	Infraestructura	2
Altas velocidades a usuarios con movilidad, requiere garantizar mejores coberturas	Infraestructura	3
Dificultad para cubrir áreas rurales	Infraestructura	3
Dificultad para habilitar rutas de fibra óptica	Infraestructura	3
Indisposición de los operadores para compartir su infraestructura	Infraestructura	3
Falta de infraestructura de Towering o Netcos, que son empresas que ofrecen facilitar un despliegue de redes 5G.	Infraestructura	3
Topografía del país dificulta la construcción de rutas de redundancia	Infraestructura	3
Espectro de radiofrecuencias no optimizado	Legal / Regulatorio	1
Radiofrecuencias mal distribuidas	Legal / Regulatorio	2
Trabas municipalidades y permisos gubernamentales para expansión de la red	Legal / Regulatorio	2
El alto nivel de impacto que tiene un proyecto afecta sectores privado/público	Legal / Regulatorio	3
Frecuencias requeridas requieren ser liberadas	Legal / Regulatorio	3
Permisos para la construcción de nuevos sitios	Legal / Regulatorio	3
Procesos gubernamentales para la toma de decisiones	Legal / Regulatorio	3
Falta de personal técnico con conocimiento en tecnologías 5G	Recurso Humano	1
Usuarios no capacitados para aprovechar tecnología	Recurso Humano	2
Situación socioeconómica del país demanda atención en otros ámbitos	Socioeconómico	1
Desconocimiento de la gente con respecto al tema	Socioeconómico	2
Desigualdad social que imposibilita que la tecnología llegue a todo el país	Socioeconómico	2
Falta de dinamismo de países tercer-mundistas	Socioeconómico	2
Alto costo de vida en Costa Rica afecta los precios de los artículos tecnológicos	Socioeconómico	3
Brecha digital entre el país y economías avanzadas dificulta capacidad de crecimiento	Socioeconómico	3
Falta de interés del cliente	Socioeconómico	3
IVA afecta que clientes consuman servicios como Netflix, Spotify, Amazon, etc.	Socioeconómico	3
Precio de terminales elevados para venta al usuario final	Socioeconómico	3
Prioridad que existe por las TELCOS para invertir en solucionar problemas más allá de invertir en nuevos proyectos	Tecnológico	1
Estándar 5G en desarrollo	Tecnológico	2
No existe un único modelo tecnológico en el país	Tecnológico	2
Rezago tecnológico en temas como IA, robótica, etc.	Tecnológico	2
Uso de frecuencias más bajas que brindan menor cobertura	Tecnológico	2
Necesidad de alcanzar latencia inferior a 1ms	Tecnológico	3
Mercado de terminales 5G limitado	Tecnológico	3
No se cuenta con una fecha cuando la tecnología debe ser desplegada en la región	Tecnológico	3
No se puede obtener un resultado tangible al no existir una red 5G en el país	Tecnológico	3
No todas las salidas de Internet son locales (maximizar rendimiento)	Tecnológico	3

Tabla 1. Listado de problemas. Fuente: Elaboración propia.

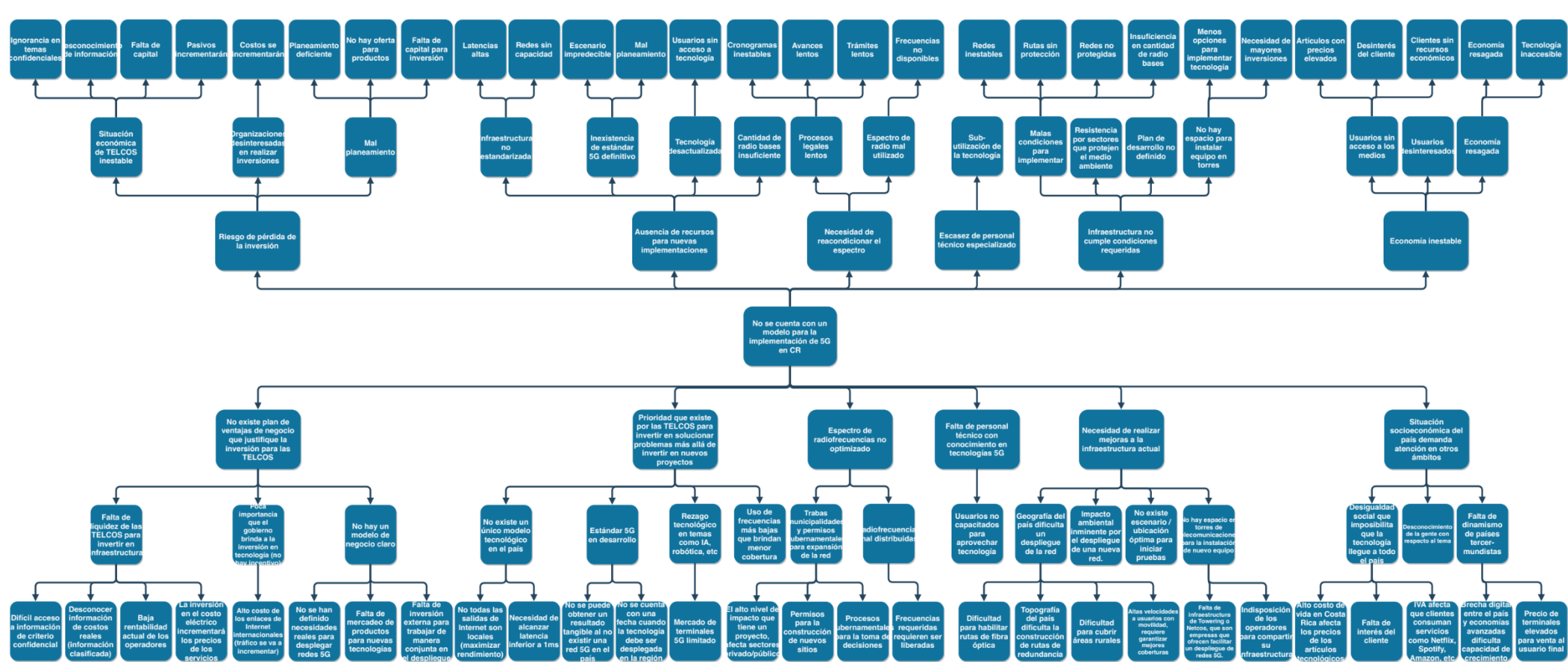


Figura 2. Árbol de problemas. Fuente: Elaboración propia.

El árbol de problemas muestra el problema focal de la investigación, donde en su parte inferior se ordena en forma de árbol, siguiendo las categorías definidas previamente, y de manera jerárquica según su impacto en 3 niveles. El nivel cero, o problema focal, define el objetivo general, el siguiente nivel los objetivos específicos. El nivel dos corresponde a las metas trazadas, mientras que el nivel tres las actividades que deben ejecutarse. Los niveles inferiores representan los efectos de los problemas.

La parte superior del árbol representan las causas de los problemas identificados, donde el nivel uno de la parte superior corresponde a las estrategias que se deben seguir, el segundo nivel las tácticas que se deben implementar, y el nivel superior a la logística definida para atacar los problemas.

Una vez identificados los problemas, y como lo indica el método de investigación utilizado, se procede con la presentación del árbol de objetivos, dando tratamiento a los problemas para convertirlos en objetivos, actividades y metas.

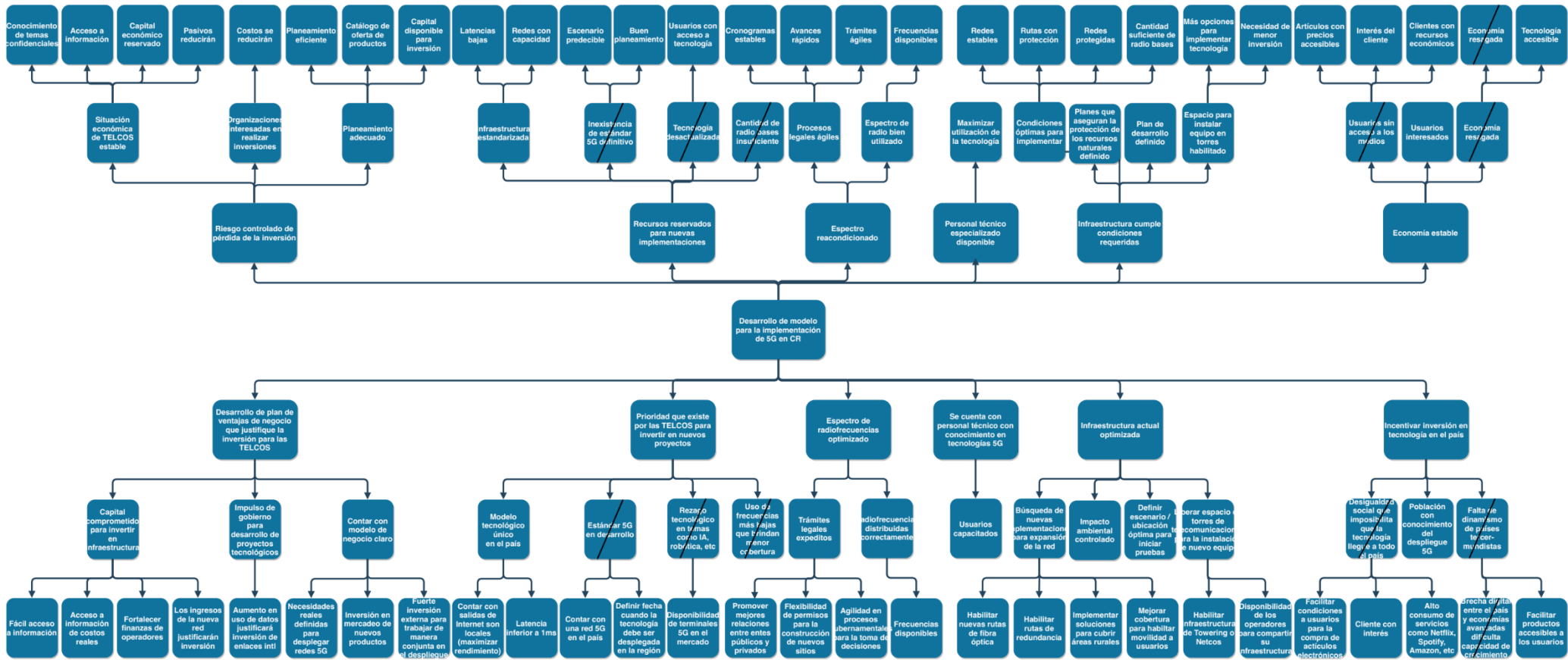


Figura 3. Árbol de objetivos. Fuente: Elaboración propia.

A partir de contar con la estructura de los problemas y manipulando los datos, invirtiendo su objetividad de negativo a positivo, nos permite identificar las limitaciones de la investigación, que serán problemas reconocidos que deben recibir un manejo especial, minimizando su impacto o buscando alternativas que aporten.

El diagrama presenta con una línea transversal a los problemas que no pueden ser atacados durante el proyecto de investigación y que posteriormente serán presentados como limitantes.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo para la implementación de la tecnología 5G en Costa Rica.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar las ventajas competitivas que justifiquen la inversión requerida por los TELCOS para la implementación de la tecnología 5G.
2. Establecer un listado de prioridades con las actividades a ejecutar requeridas para habilitar la nueva tecnología.
3. Reacondicionar el espectro de radiofrecuencias del país.
4. Capacitar el personal requerido en las diferentes áreas, cubriendo todas las fases del proyecto para robustecer la implementación y aseguramiento de la inversión.
5. Optimizar la infraestructura actual para facilitar el medio donde se desplegará la red de telecomunicaciones.

6. Crear un plan que incentive a la sociedad y la involucre en el desarrollo del proyecto, para fomentar el aprovechamiento de la tecnología y minimizar el riesgo de la inversión.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

La implementación de una red conlleva un trabajo de impacto masivo, donde se deben involucrar no solo varias entidades independientes, sino que además se deben considerar factores dentro del ámbito gubernamental, como, por ejemplo, la asignación de frecuencias de radio dentro de espectros electromagnéticos, los cuales son administrados por organizaciones gubernamentales.

Es por esto, que el proyecto define su alcance en el desarrollo de un modelo a seguir por las diferentes empresas de telecomunicaciones como patrón para el despliegue de la tecnología en el territorio nacional, donde, inicialmente, se identificarán los retos a los que se enfrentará el país para lograr un desarrollo de redes 5G. Posterior a esta identificación, se propondrá un plan de acción con pasos a seguir, buscando favorecer un despliegue, minimizando riesgos y complicaciones. Este plan de acción consta básicamente de actividades que se deberán ejecutar previo o durante un futuro despliegue, y que estos descubrimientos no tomen por sorpresa a los ejecutores, evitando atrasos o readecuaciones a los cronogramas propuestos.

Se puede decir que parte del alcance es lograr una tropicalización del proceso de implementaciones realizadas en países que han incursionado en tecnologías 5G, y donde se han presentado diversas complicaciones, trayendo ese escenario al ámbito local, identificando estas y nuevas problemáticas, debido a factores sociales, económicos u otros.

- El primer entregable del proyecto consiste en un diagnóstico de la situación actual del mercado de telecomunicaciones, donde se demuestre el entorno actual sobre el cual se trabaja e identifiquen algunas de las necesidades de cambio para la implementación de las tecnologías 5G. A partir de estas necesidades se sentarán las bases para el desarrollo de la investigación.
- El segundo entregable consiste en analizar la situación a nivel de gobierno y el ambiente sobre el que se realizará el despliegue, verificando los factores externos a las empresas de telecomunicaciones y donde compete al gobierno tomar acciones para mejorar el entorno de desarrollo que garantice una red óptima.
- Un tercer entregable consiste en realizar un estudio a clientes empresariales potenciales y validar las características y necesidades contratadas, y de esta manera determinar oportunidades de negocio para las redes de tecnología 5G.
- Por último, se presentará un modelo de acciones a ejecutar por todas las áreas involucradas con el fin de facilitar un desarrollo más fluido, minimizando riesgos y/o atrasos.

1.4.2 Limitaciones

La magnitud del desarrollo de un proyecto de tal envergadura conlleva un impacto a nivel nacional, lo que imposibilita garantizar el seguimiento de las recomendaciones propuestas y que sean estas acatadas por todas las partes involucradas, siendo cada una de estas, entidades autónomas, tanto de ámbito privado como público. En otras palabras, el proyecto basa su investigación en un diseño de mejores prácticas a ser seguidas por los participantes del entorno de las telecomunicaciones, no obstante, y aunque serán discutidos con los diferentes puntos de contacto dentro de las entidades participantes, no se puede garantizar que las observaciones y

hallazgos sean de acatamiento obligatorio, quedando a discreción de cada ente su acatamiento total o parcial.

Una limitante es que no se podrá validar el funcionamiento de la red *per se*, ya que esta tecnología se encuentra en desarrollo y se espera continúe su progreso con la liberación de nuevos releases, para lo que se espera que el despliegue comercial por parte de las operadoras en Costa Rica se inicie en el año 2020, fechas aún por definirse.

Muy de la mano del punto anterior, el país nos coloca en un escenario de desventaja con respecto a otras economías de primer mundo, donde si se da prioridad a temas de desarrollo tecnológico, temas como la Inteligencia Artificial, Robótica, Automatización, entre otros; son de atención prioritaria. En Costa Rica no se realiza una inversión importante en este tipo de asuntos, lo que limita un escenario de necesidad real para la puesta en marcha de la tecnología 5G.

Otro condicionante podría ser durante la definición de aspectos financieros, aún y cuando existe un precio preestablecido para lo que respecta a hardware y servicios, los contratos con los diferentes representantes varían en sus condiciones y afectan los precios finales de los productos, que constituye información confidencial y generan un ambiente hermético a la hora de definir condicionantes económicos. Esto limita la visibilidad de panoramas entre las diferentes propuestas que se esperan analizar con todos los TELCOs que operan en el país.

Además, se conoce de la limitante de las empresas por no divulgar algunos aspectos tecnológicos internos que pudieran revelar algún tipo de desventaja ante sus competidores, lo que podría inducir a obtener un criterio sesgado, o imposibilitar la visualización total de un argumento que podría ser importante para el desarrollo del proyecto de investigación. Para minimizar este riesgo, se pretende aprovechar la experiencia adquirida a través de varios años en el área de las

telecomunicaciones, además de apoyar la investigación con diversos expertos de diferentes áreas y empresas, a manera de obtener un control cruzado de factores importantes.

Finalmente, durante el desarrollo del proyecto se presentó una situación particular y sin precedentes, como lo es la pandemia mundial provocada por el SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) o más popularmente conocido COVID-19, que ha paralizado al mundo afectando la vida social como la económica. Esta situación limitó enormemente la capacidad de comunicación y movilización para lograr un contacto con los entrevistados, quienes han tenido que modificar sus cronogramas y prioridades para enforzar sus esfuerzos en garantizar la continuidad de los negocios, siendo las telecomunicaciones vitales para sobrellevar una crisis de esta magnitud.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Para facilitar la comprensión del proyecto en desarrollo, se debe introducir una serie de conceptos relacionados que fundamentaron la investigación. Esta sección presenta, de manera estructurada y secuencial, en lo que respecta al desarrollo del tema, el conocimiento aplicado a lo largo del proceso. Se introducen desde conceptos básicos referentes a telecomunicaciones, como otros más específicos, reforzando el conocimiento y facilitando la comprensión del lector.

Podemos decir que el marco teórico presenta una descripción detallada de los diferentes elementos utilizados a lo largo de la investigación, interrelacionando estos elementos entre sí, y más importante, su relación con el tema expuesto.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO – ANTECEDENTES

Sundhar y Miller (2017) presentan una reseña histórica de la evolución de las telecomunicaciones y resaltan “el primer desarrollo móvil real en dos vías elaborado para el año 1923 y utilizado en vehículos policiales australianos – aunque ocuparon el asiento completo trasero de las patrullas. Radios de mano –“walkie-talkies”- usadas por primera vez en la Segunda Guerra Mundial” (p.5).

En el año 1981 nació la primera generación (1G) de telefonía celular, denominado NMT450 (Nordic Mobile Telephony 450 MHz), que se caracterizaba por ser analógica y permitía realizar comunicación únicamente por voz, otra característica es que los dispositivos eran de gran tamaño y costos elevados. Posteriormente el estándar se modernizó, utilizando frecuencias superiores, habilitando el servicio a más usuarios. Los estándares que se utilizaron fueron AMPS, TACS y NMT.

Luego, en la década de 1990 nació la segunda generación (2G) con la característica de que esta generación ya no funcionaba analógicamente, sino que pasó a ser digital. Las comunicaciones digitales ofrecen mejor calidad de voz que su antecesor, aumenta la seguridad y simplificó la tecnología de los terminales. Utilizó estándares como GSM, IS-136, iDEN e IS-95, que les permitía a los consumidores hacer uso del servicio SMS, buzón de voz y fax. Además, en esta generación los teléfonos móviles tuvieron un gran cambio tanto en tamaño como en costo, tuvo gran acogida y crecimiento para la comunicación entre los usuarios; a partir de esta generación se hace más notoria la importancia del desarrollo del Internet y los protocolos IP, tiempo más tarde se comenzó a implementar la red EDGE.

Con el auge de las redes de segunda generación y su creciente demanda, nace la necesidad de contar con un estándar con mayor capacidad de transmisión de datos. Es por esto por lo que la tercera generación (3G) nace en el año 2000, ofreciendo mejoras en la transmisión de voz y datos mediante UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Se habilita el servicio de conexión a Internet mediante módems USB, alcanzando velocidades de 144kbit/s hasta 7.2 Mbit/s, salen al mercado nuevos dispositivos móviles con sistemas operativos como iOS y Android, y algunos móviles permiten Wi-Fi y Bluetooth. Se fusionaron dos protocolos móviles para mejorar el rendimiento de la red de telecomunicaciones y forman HSPA (High Speed Packet Access).

La cuarta generación (4G) nació en el 2010 y se caracterizó por ser una tecnología de alta velocidad, calidad, seguridad, capacidad y servicios de bajo costo para voz, datos y multimedia por medio del Internet, permitiendo inclusive la recepción de señales de televisión en alta definición HD. Esta tecnología trabaja con el protocolo IP, y es un sistema de red que alcanza

grandes convergencias entre redes de cable e inalámbrica. Con la tecnología LTE se pueden realizar videollamadas de alta calidad, jugar en línea, entre otros.

Sin embargo, la alta demanda ha generado la necesidad de un nuevo estándar, el cual se encuentra en desarrollo y promete una mejor experiencia al usuario, objeto de esta investigación.

2.2 CONTEXTO TEÓRICO – CONCEPTUAL

2.2.1 Espectro Electromagnético

Como explica Palacio (2015) “El espectro electromagnético es un campo energético compuesto de ondas electromagnéticas con diferentes frecuencias o longitudes. Las ondas electromagnéticas se propagan mediante una oscilación de campos eléctricos y magnéticos, produciendo así una radiación electromagnética que se extiende a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Esta radiación puede manifestarse por medio de calor, luz visible, ondas de radio, televisión, telefonía, etc., y es medida en hercios (Hz), la unidad internacional de medida del espectro electromagnético. La energía proveniente de la radiación se manifiesta en ondas que se pueden difundir a través de distintos medios, es decir, no necesitan de ningún medio especial (aire, agua) para su propagación, lo que significa que pueden hacerlo en el vacío y a la velocidad de la luz. Además, las ondas pueden tener diferentes frecuencias; esto es, no todas cuentan con los mismos intervalos de repetición. Entonces, entre más alta sea una frecuencia mayores repeticiones tendrá una onda electromagnética determinada”. (p.5)

Este espectro electromagnético es amplio y se extiende desde radiaciones de longitudes cortas, como por ejemplo los rayos x, pasando por la radiación ultravioleta, luz visible y la

infrarroja, hasta llegar a las que nos compete para el entendimiento del proyecto, con ondas electromagnéticas de mayores longitudes de onda, como lo son las ondas de radio.

2.2.2 Espectro Radioeléctrico

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT es un organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de Información y Comunicaciones TIC que define el espectro como “Las frecuencias del espectro electromagnético usadas para los servicios de difusión y servicios móviles, de policía, bomberos, radioastronomía, meteorología y fijos. Este ‘(...) no es un concepto estático, pues a medida que avanza la tecnología se aumentan (o disminuyen) rangos de frecuencia utilizados en comunicaciones, y corresponde al estado de avance tecnológico’. (UIT, 1985).”

También la Agencia Nacional del Espectro (ANE) afirma que el espectro radioeléctrico es el “medio por el cual se transmiten las frecuencias de ondas de radio electromagnéticas que permiten las telecomunicaciones y son administradas y reguladas por los gobiernos de cada país.” (2011, párr. 1).

Como se hace referencia, es un recurso natural, propiedad exclusiva del estado, constituyendo de esta forma un bien nacional de interés público; y su administración y control corresponde a un ente gubernamental, para el caso de Costa Rica la Superintendencia de Telecomunicaciones, quien otorga los correspondientes derechos de uso, atando su uso a los fines para los que han sido autorizados, derecho por el que debe realizar un pago correspondiente denominado canon. Las SUTEL define que “El Canon de Reserva del Espectro Radioeléctrico es un monto que deben pagar los concesionarios y permisionarios del espectro radioeléctrico a los cuales se haya asignado bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la planificación, administración y control del uso del espectro radioeléctrico, a cargo de la SUTEL, según Ley No. 8642, del 04 de junio de 2008. (SUTEL, 2008)”.

De igual forma el artículo 63 del capítulo IV de la Ley General de Telecomunicaciones indica que “Los operadores de redes y los proveedores de servicios de telecomunicaciones deberán cancelar, anualmente, un canon de reserva del espectro radioeléctrico. Serán sujetos pasivos de esta tasa los operadores de redes o proveedores de servicios de telecomunicaciones, a los cuales se haya asignado bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, independientemente de que hagan uso de dichas bandas o no. (SUTEL, 2008)”.

2.2.3 Bandas de Frecuencia

Las bandas de frecuencia son los intervalos de las frecuencias que componen el espectro electromagnético, a los cuales se les asigna un uso dentro de las comunicaciones de radio y se encuentra regulado directamente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (organización intergubernamental más antigua del mundo (1865)). Este intervalo está situado entre los 3 hercios (HZ) y los 300 gigahercios (GHz), siendo el hercio la unidad de medida de la frecuencia de las ondas y su equivalencia es de un ciclo por segundo.

El espectro se divide en bandas de frecuencias que se designan por números enteros, en orden creciente. Las bandas de frecuencias constituyen el agrupamiento o conjunto de ondas radioeléctricas con límite superior e inferior definidos convencionalmente. Estas a su vez podrán estar divididas en sub-bandas.

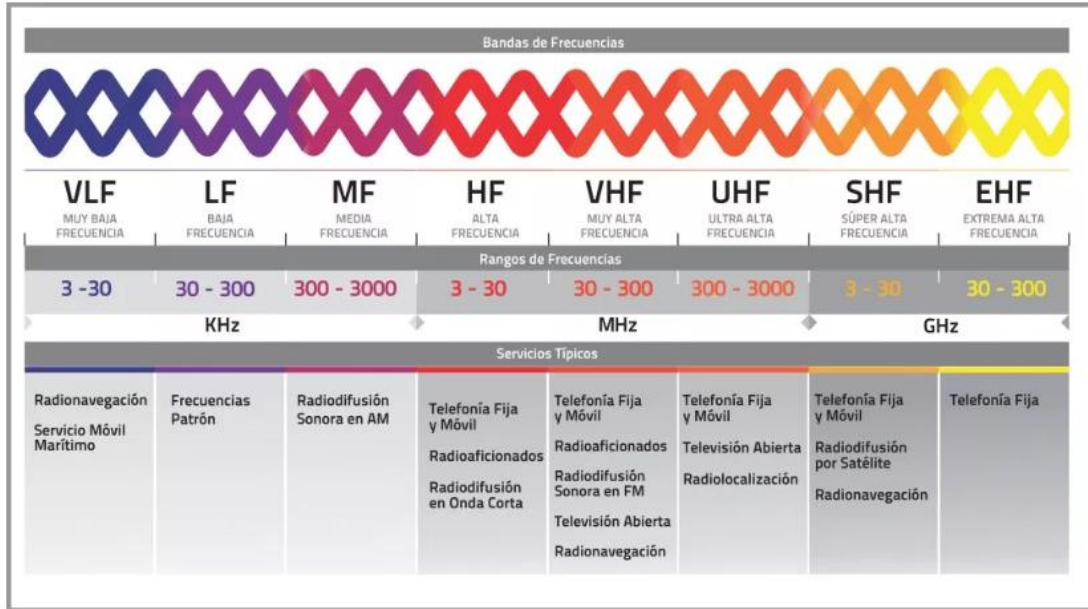


Figura 4. Bandas de Frecuencia. Recuperado de: <http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>

Cada banda define unas características específicas que determinan cual será el uso aplicable según la tecnología o utilización, siendo las bandas bajas las que permiten mayores coberturas, al contrario de las altas, que delimitan su radio de cobertura a dimensiones menores, no obstante, permiten mayores anchos de banda de transmisión. El siguiente cuadro define el alcance de cada una de las categorías.

Tipo de frecuencia	Abreviatura	Frecuencias	Longitud de onda
Frecuencia extremadamente baja	ELF	3-30 Hz	100.000 – 10.000 km
Super baja frecuencia	SLF	30-300 Hz	10.000 – 1.000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	300 – 3.000 Hz	1.000 – 100 km
Muy baja frecuencia	VLF	3 – 30 kHz	100 – 10 km
Baja frecuencia	LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km
Media frecuencia	MF	300 – 3.000 kHz	1 km – 100 m
Alta Frecuencia	HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
Muy alta frecuencia	VHF	30-300 MHz	10 – 1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	300-3.000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	SHF	3-30 GHz	100 – 10 mm
Frecuencia extremadamente alta	EHF	30-300 GHz	10 – 1 mm

Tabla 2. Bandas de radiofrecuencia. Fuente: Elaboración propia.

Lo que corresponde a la telefonía móvil, normalmente se ubica en la banda UHF, trabajando entre los 300 y los 3000 MHz, normalmente la tecnología 5G trabaja en el rango más alto de este espectro.

Sin embargo y como se mencionó, la ventaja otorgada por las señales de alta frecuencia es que son capaces de proporcionar velocidades de datos significativamente más rápidas. Como se comentó, la desventaja es que su alcance es limitado y la penetración es limitada ante la presencia de obstáculos estructurales. Eso significa que los operadores necesitarán desplegar miles de pequeñas células o antenas por todo el territorio para lograr brindar una cobertura adecuada.

2.2.4 Tecnologías Inalámbricas

La comunicación inalámbrica brinda un medio de transporte a los datos sin el uso de cables entre los equipos. Estas redes tienen un enlace que trabaja con ondas electromagnéticas, en sustitución de cableado físico estándar, permitiendo que los dispositivos de los usuarios se conecten a cualquier red, ya sea que se encuentren a metros o kilómetros de distancia.

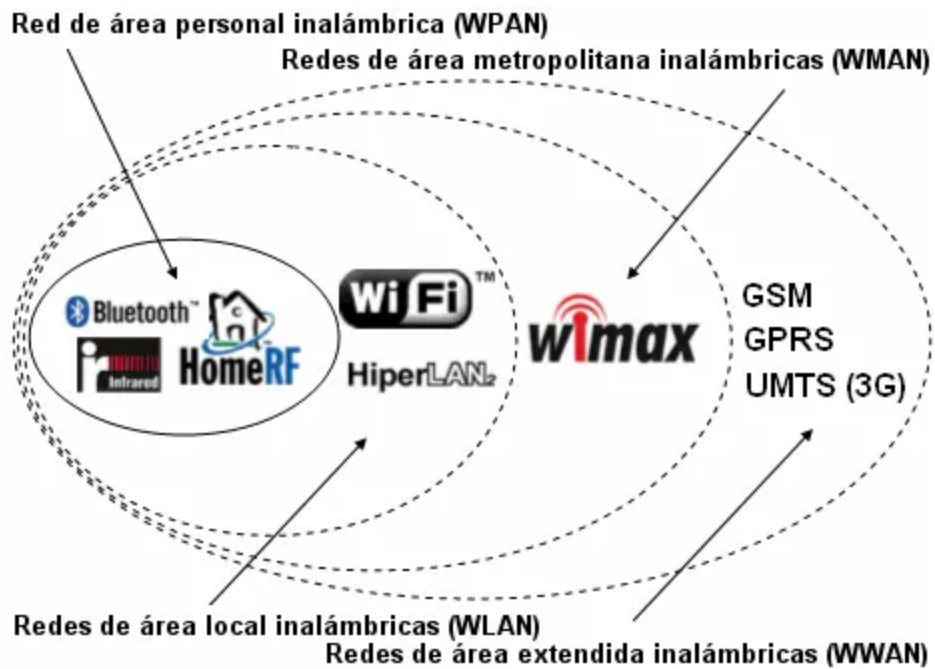


Figura 5. Clasificación de redes inalámbricas. Recuperado de: <https://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>

La figura 5 muestra las diferentes categorías de redes inalámbricas, las cuales se diferencian entre sí por el área de cobertura alcanzado, delimitado por la frecuencia a la que se transmite. La tecnología 5G es una red de área extendida inalámbrica WWAN, al igual que sus predecesoras, las redes 2G, 3G y 4G; de ahí la importancia de identificar los diferentes tipos de redes inalámbricas existentes.

2.2.5 Telefonía Móvil

Con el aprovechamiento de la radiofrecuencia y las diferentes tecnologías inalámbricas, dejó de ser necesario la conexión física interrumpida, siendo requerido instalar únicamente antenas receptoras a una distancia adecuada, con la capacidad de enviar y ampliar las señales de

radio, y, a partir de esto es que se hace posible la radio, la telefonía móvil, la televisión y los servicios de Internet inalámbrico, dejando atrás los cables.

Los inicios de la telefonía móvil son analógicos en sus primeras generaciones, pero no fue hasta 2G o GSM (Global System for Mobile Communications o Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) que se da el giro a la tecnología digital. A partir de esta mejora, y con la llegada de las nuevas generaciones, se incrementó la capacidad de transferencia de datos y mejoras en la experiencia a los usuarios.

En resumen, podemos decir que la telefonía móvil es una red de comunicación a través de teléfonos móviles, donde no hay conexión de dispositivos finales mediante medios físicos, como el cable. El medio de transmisión es el aire, y el mensaje se transporta por medio de ondas electromagnéticas.

2.2.6 Tecnología 5G

El 5G corresponde a la quinta generación de las tecnologías de telefonía móvil, siendo al día de hoy un estándar en desarrollo; sin embargo, la percepción del usuario no debería representar ningún cambio más allá de la apreciación de un mejor servicio de datos, debido a que 5G viene a ser una evolución de su predecesor y actual tecnología 4G/LTE.

Se dice que la tecnología no cuenta con un estándar definido, pero las principales compañías de redes móviles, entre las que se encuentran Huawei, Ericsson, ZTE y Nokia, están de acuerdo en fijar para este 2020 la fecha del lanzamiento comercial del 5G. 3GPP (3rd Generation Partnership Project: Proyecto Asociación de Tercera Generación), un grupo de colaboración de asociación de telecomunicaciones, es el encargado del desarrollo del estándar

global de la tecnología, iniciando en el año 2015, liberando la primera especificación a finales del 2017.

Cabe resaltar que, aunque 3GPP ha liberado el release 15, pendientes los 16 y 17, alrededor del mundo se han desplegado varias redes de prueba, y fue en España donde se ha llevado a cabo la primera conexión 5G. Este hito, fruto de una colaboración entre Vodafone y Huawei, hizo posible la primera llamada telefónica utilizando el nuevo estándar comercial NSA (Non Stand Alone) entre Madrid y Castelldefels.

El 5G se concibe como un innovador ecosistema compuesto por una nueva arquitectura de red, nuevos modelos de estaciones base y nuevos estándares de complejación de ondas.

Como lo indica Sundhar y Miller (2017) “5G es mucho más que solo la siguiente iteración de redes móviles. 5G va a lograr 3 objetivos principales: Velocidad (acceso de radio de ultra-alta velocidad) (...), Capacidad de respuesta (latencia ultra-baja), Escalabilidad (conectividad masiva)” (p. 8). 5G logrará estas mejoras gracias a las innovaciones que supondrán los avances en la Red de Acceso Radioeléctrico (RAN), la gestión flexible de los recursos radioeléctricos (RRM) así como la implantación de redes ultra-densas o transportes más eficientes.

Principales características de la tecnología 5G:

- Velocidades de hasta 10Gbps.
- Latencia inferior a 5ms, alcanzando 1ms.
- Posibilidad de segregar la red (network slicing), descrito más adelante.
- Facilitar comunicaciones masivas tipo máquina a máquina (M2M).
- Impulsará el despliegue del IoT.

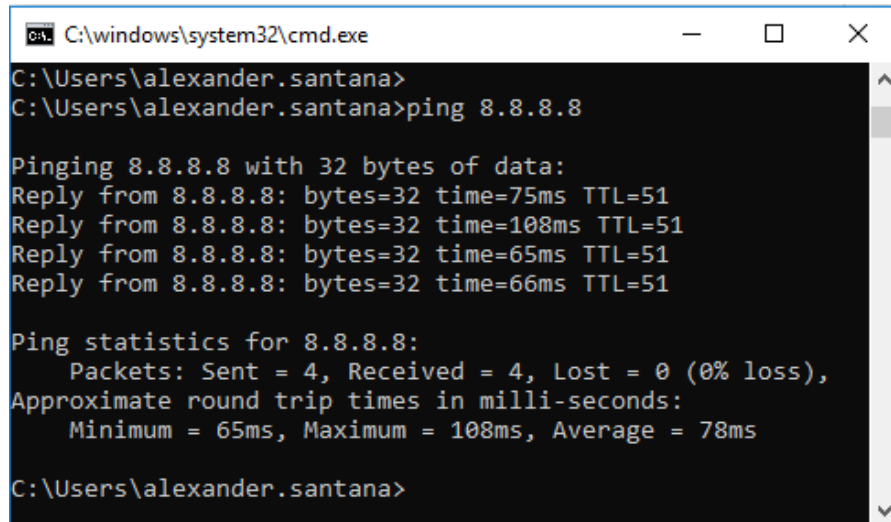
5G es una tecnología que más allá de ser innovadora, viene a satisfacer una necesidad casi imprescindible de sobrevivir al cuello de botella electromagnético existente en las grandes aglomeraciones urbanas. Cada vez son más los dispositivos conectados, hace falta una mayor capacidad y permitir mayor cantidad de conexiones simultáneas, como, por ejemplo, soportar un ecosistema de automóviles inteligentes siempre conectados o el cada vez más popular Internet de las Cosas IoT. De ahí que 5G no nace ligada a un objetivo o concepto único, como si sucedió con sus predecesoras: 2G se diseñó para digitalizar la voz, 3G para integrar datos y voz y 4G para banda ancha móvil.

2.2.7 Latencia

Hablando de las nuevas características ofrecidas por las redes 5G, se habla de reducir los tiempos de latencia a cifras inferiores a 1 milisegundo, lo que corresponde a una milésima fracción de segundo. Pero ¿En que nos beneficia reducir los tiempos de latencia? Para poder responder a esta pregunta antes debemos entender que es la latencia. Como lo define Edgeworth, Rios, Hucaby & Gooley (2020) “El retardo en una vía entre origen-destino, también conocido como latencia de red, es el tiempo que le toma a un paquete viajar desde su origen hasta su destino” (p. 364). La latencia describe un tipo de tiempo de retraso que se requiere para enviar información de un origen hacia un destino, calculado por una medida proporcional al tiempo que tome, donde como se comentó, para efectos de tráfico de datos hablamos de milisegundos o ms.

Podemos visualizar este retardo de manera sencilla por medio de pruebas de ping. Ping es una utilidad de diagnóstico, ofrecida por todos los sistemas operativos para validar el estado de la comunicación entre un sistema local y un destino remoto, utilizando el envío de paquetes ICMP

o de solicitud de respuesta. Entre los resultados devueltos por esta herramienta, se encuentra el tiempo de latencia.



```
C:\windows\system32\cmd.exe
C:\Users\alexander.santana>
C:\Users\alexander.santana>ping 8.8.8.8

Pinging 8.8.8.8 with 32 bytes of data:
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=75ms TTL=51
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=108ms TTL=51
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=65ms TTL=51
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=66ms TTL=51

Ping statistics for 8.8.8.8:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 65ms, Maximum = 108ms, Average = 78ms

C:\Users\alexander.santana>
```

Figura 6. Resultados de las pruebas ping hacia los DNS públicos de Google. Fuente: Elaboración propia.

La figura 6 muestra los resultados de la prueba ping desde una computadora con conexión a Internet por medio de un enlace de cable módem, hacia los servidores DNS públicos de Google; donde se puede observar tiempos de respuesta entre los 65 y los 108 milisegundos. La tecnología 5G promete mejorar estas cifras.

Hablando específicamente de la latencia de la red, se dice que es el retardo que inyecta el tránsito de los datos en su paso por la red. Volviendo al ejemplo anterior, cuando se realizan las pruebas desde la computadora local hasta Google, el paquete debe viajar por diversas redes, iniciando desde una red local donde se encuentra físicamente ubicada la computadora (puede ser un router inalámbrico en casa), dando paso por la red del proveedor de servicios locales contratados por el usuario, quien a su vez tiene conexiones con otros proveedores de servicios hacia enlaces internacionales, hasta finalmente llegar a una red propia de Google, donde residen los servidores DNS. Cada una de estas redes inyecta un retardo de tiempo en sus diferentes saltos,

determinados por routers, que son equipos de red encargados de enrutar el tráfico. Puede existir un retardo con el simple hecho de establecer una conexión debido a la distancia y número de “saltos” involucrados en establecer la conexión.

Las redes 5G prometen reducir este retraso entre los dispositivos y los servidores finales con los que se comunican, donde para muchos de ellos la velocidad de respuesta es una condición indispensable, como, por ejemplo, cuando hablamos de conducción asistida, operaciones quirúrgicas o en la producción industrial robotizada. Detallando uno de estos escenarios, la necesidad de automóvil que se conduce solo, requiere contar con una conexión prácticamente ininterrumpida y en tiempo real entre el automóvil, otros vehículos y todos los sensores externos; caso contrario, los resultados pueden ser fatales.

2.2.8 Internet de las Cosas - IoT

La definición más simple de IoT es la de conectar todas las cosas a través de Internet. El concepto de IoT fue inicialmente propuesto mucho tiempo atrás, pero IoT no fue oficialmente definido hasta el año 2005 en un reporte por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), El Internet de las Cosas. El reporte oficialmente proponía el concepto de IoT y definía que IoT está basado en el éxito revolucionario de la movilidad y el Internet.

El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) divide IoT en tres capas conceptuales, la capa de aplicación, la capa de red, y la capa de percepción,(...).

1. Capa de Aplicación: la capa de aplicación conduce análisis y procesamiento de los datos de la capa de red de acuerdo a las necesidades del usuario para proveer servicios inteligentes.
2. Capa de Red: la capa de red es responsable de transferir datos recibidos de la capa de percepción hacia la de aplicación para su procesamiento.
3. Capa de Sensor: la capa de percepción utiliza cuatro tecnologías clave, radio frequency identification (RFID), near field communication (NFC), Wireless sensor technologies y tecnologías integradas para recolectar datos. Los datos son compilados y transmitidos a la capa de red. (Chao, 2019, p.102)

En resumen, Internet of Things o IoT, es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales, personas con identificadores únicos, interconectados todos y con capacidad de transferir datos a través de la red. Y es en la capa de red donde la tecnología 5G tiene su foco de atención, buscando facilitar estas conexiones e intentando mejorar la experiencia tanto de usuarios como de máquinas, para tener conexiones lo más próximas al tiempo real.

Mientras mayor sea el número de dispositivos conectados, mayor será el ancho de banda requerido para satisfacer estas necesidades, donde las actuales tecnologías inalámbricas de largo alcance, como por ejemplo la generación 4G, se quedaría corta al intentar conectar la cantidad de dispositivos esperados con el auge del IoT, lo que representa una oportunidad de negocio para el mercado.

2.2.9 Big Data

Big Data puede ser definido como la esfera de análisis de datos, donde se usan métodos más sofisticados para la colección, procesamiento, almacenamiento, análisis y visualización de información, para datos complejos y procedimientos estándar de procesamiento de datos. Además, Big Data define como datos en sí mismos con muchos problemas vitales - volumen (el tamaño de las bases de datos es enorme), variedad (estos datos provienen de orígenes variados y se encuentran representados por diferentes tipos), velocidad (el tiempo utilizado para la generación, colección y análisis es corto); además, algunas características adicionales son validez (calidad alta) y valor (el valor que estos datos proveen a sus dueños). (Chao, 2019, p.223)

Se entiende por Big Data, como se menciona por el autor previamente, como cantidades de datos a muy grandes escalas, dimensiones que sobrepasan la capacidad que el software convencional es capaz de capturar, procesar y almacenar en los tiempos requeridos. A partir de esto, al hablar del término Big Data, debemos considerar también la infraestructura, las tecnologías y los servicios que han sido creados para poder gestionar esta cantidad de información. Las redes sociales representan un claro ejemplo de esto, con los dispositivos móviles teniendo un auge impresionante de utilización, generando cantidades exorbitantes de datos cada segundo alrededor del mundo; cantidades elevadas de dispositivos conectados a la red, sensores, el Internet de las cosas; son muchos los medios y fuentes disponibles a los millones de usuarios para generar cada vez más datos.

Sin embargo, cuando hablamos de Big Data, no nos limitados únicamente a los datos, sino más bien a su utilidad y la capacidad para poder explotarlos y extraer esta información y conocimiento para generar algún valor para el negocio, o darles un objetivo específico. La

finalidad de Big Data es poder diseñar nuevos productos o servicios, basados en los datos útiles obtenidos de la información, lo que promete poner en ventaja a los usuarios que sepan explotar esta técnica.

El manejo de esta información y su procesamiento, requiere de hardware más robusto, y por ende, medios de transporte con mejores características para manejarlos, y es acá donde 5G juega un papel importante; al contar con anchos de banda superiores, tiempos de respuesta inferiores, facilidad de acceso a la red, entre otras ventajas ofrecidas por la tecnología, la necesidad de contar con una red 5G, que satisfaga los requerimientos, se hace cada vez más visible; pudiendo aprovechar esta necesidad como una oportunidad de negocio a explotar por los diferentes proveedores de servicios alrededor del mundo.

2.2.10 Realidad virtual

La realidad virtual consiste en el uso de la tecnología para la creación de ambientes simulados, donde se busca llevar al usuario a un mundo inmerso donde pueda interactuar en ambientes 3D, más allá de un mundo plano, como los que convencionalmente ofrecían los tradicionales video juegos por medio de una pantalla. Barrientos, Peñín, Balaguer y Aracil (2007) lo definen como una “situación o circunstancia que se da cuando un ser humano tiene la sensación de encontrarse en un lugar distinto de donde físicamente está, gracias a la información generada exclusivamente por un computador.” (p. 487). La realidad virtual también incluye otros sentidos para crear una experiencia aún más real al usuario de la tecnología, sentidos como la visión, el oído, el tacto y olores para obtener un entorno, digamos artificial.

Todo esto se logra con dispositivos computacionales, muy popular ahora el uso del HMD, un dispositivo de video que se coloca en la cabeza, ya sea como unas gafas o un casco, con una pequeña pantalla que muestra contenido visual y transporta al usuario a entornos generados digitalmente. Este tipo de tecnología es utilizada en video juegos, aviación, ingeniería y medicina, por ejemplo.

El término realidad virtual viene de sus dos conceptos, “virtual” de cercano y “real” lo que experimentamos como personas, que en conjunto es “cercano a la realidad”, siendo una simulación de la realidad. Donde, como se comentó, aunque se ha popularizado en el ambiente de los video juegos, su utilización va más allá, aprovechándose incluso académicamente, y ahora con las tecnologías emergentes, comercializándose como un producto que ofrece al usuario experiencias únicas, sin importar el lugar donde este se encuentre localizado.

Con el despliegue de las redes de prueba 5G alrededor de mundo, se han aprovechado eventos para ofrecer a los fanáticos entradas a eventos deportivos, sin la necesidad de movilizarse. NBC Sports, por ejemplo, está ensayando la transmisión de partidos de la NBA en plataformas de realidad virtual con socios como NextVR, Oculus y Google Daydream. Esto quiere decir, que un ciudadano costarricense, puede ser parte de un partido de la NBA desde su propia casa en Costa Rica, sin la necesidad de invertir grandes sumas de dinero y tiempo para presenciar el evento, sin limitantes de espacio en los recintos donde estos se lleven a cabo.

Para lograr esto, se requiere de conexiones lo suficientemente robustas, capaces de transportar la cantidad de datos que se requieren y generar una experiencia tan real, como la esperada por la realidad virtual. Este es un mercado que se puede aprovechar por las diferentes compañías, asociándose y brindando un servicio totalmente novedoso y atractivo, que podría generar ingresos importantes que justifiquen la inversión requerida.

2.2.11 Robótica

La robótica es una disciplina que estudia el diseño, operación, manufacturación, estudio y aplicación de robots o autómatas, combinando muchas ramas como la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería biomédica y las diferentes ciencias de computación, entre otras disciplinas involucradas en la puesta en funcionamiento de un producto final. Se dice que la robótica representa hoy en día la cumbre en la trayectoria del desarrollo tecnológico, junto con otras ramas como la realidad virtual, por ejemplo. Siendo una disciplina en evolución, como lo señala Barrientos, Peñín, Balaguer y Aracil (2007) “Los futuros desarrollos de la robótica apuntan a aumentar la movilidad, destreza y autonomía de sus acciones, así como a ser capaces de mantener una elevada interacción con los humanos. La mayor parte de los robots actuales tienen base estática, y se utilizan en aplicaciones industriales tales como ensamblado, soldadura, alimentación de máquinas herramientas, etc. Sin embargo, existen otro tipo de aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida tanto la concepción de los robots como su propia morfología” (p.13).

Las posibilidades que aportarían las redes 5G, en conjunto con la robótica y la inteligencia artificial, puede alcanzar tanto potencial que promete, a mediano plazo, una transformación del actual modelo productivo en el mundo, trayendo consigo un impacto económico en la producción. Y es que gracias a la alta fiabilidad ofrecida por la tecnología 5G, sería posible controlar los robots y alcanzar una automatización industrial que elevaría la producción de manera exponencial.

Podemos mencionar algunos beneficios de la robótica como:

- Aumento de la productividad.
- Acceso a entornos hostiles.

- Automatización de tareas indeseadas.
- Ayuda en la medicina.
- Aplicaciones bélicas (aunque esto es un beneficio en debate).

2.2.12 Smart Cities

Es difícil tener una definición estándar de lo que son las Smart Cities, y son muchas las especificaciones que pueden definir que es o no una ciudad inteligente. Por ejemplo, en 2007, Giffinger, Fertner, Kramar, Kalasek, Pichler-Milanovic y Meijers clasificaron 70 ciudades europeas en seis dimensiones: economía inteligente (competitividad); personas inteligentes (capital humano y social); gobernanza inteligente (participación); movilidad inteligente (transporte y TIC); entorno inteligente (recursos naturales); y vida inteligente (calidad de vida). Como resultado, definieron una ciudad inteligente como "una ciudad que se desempeña bien de manera progresista en estas seis características, construida sobre la combinación "inteligente" de dotaciones y actividades de autodeterminación, independiente y consciente los ciudadanos."

Uno de los principales objetivos de desarrollar redes 5G en las principales ciudades del mundo, consiste en convertir las mismas en lo que conocemos como Smart Cities. Una ciudad inteligente es comúnmente un área urbana que utiliza diferentes tipos de electrónica, principalmente el Internet de las Cosas IoT, por medio de sensores para almacenar información y utilizarla para administrar recursos, dispositivos y servicios de una manera eficiente y automática. Esta recolección de datos incluye ciudadanos y dispositivos, para procesarla y ser analizada, monitoreando y administrando el tráfico y los sistemas de transporte, la energía, redes de servicios

como el agua, el manejo de desperdicios, mejorar la seguridad, los sistemas educativos, librerías, hospitales y muchos otros servicios.

El objetivo es aprovechar al máximo los recursos tecnológicos, conectando la mayor cantidad de dispositivos gestionables a la red, cuya administración permite una automatización y optimización de los recursos. Para lograr este cometido de conectar la cantidad necesaria de dispositivos, se requiere de una red capaz de satisfacer el ancho de banda y estabilidad a los servicios, debido a que hablamos de administrar servicios de primera necesidad. Las redes 5G han sido vitales para el desarrollo de estas ciudades inteligentes, al proveer conectividad sin la necesidad de una conexión física, con alta confiabilidad, por lo que se dice que es vital la evolución de las redes móviles para seguir creando este tipo de entornos, donde hoy en día ejemplos como Barcelona, Estocolmo, Amsterdam, entre otras pocas ciudades alrededor del mundo, han sido ejemplos exitosos de despliegues de ciudades inteligentes, haciendo uso de redes móviles evolucionadas.

Sin embargo, cabe resaltar que existen riesgos implícitos en la transformación de una ciudad a nivel tecnológico. Como lo menciona Mukhametov (2019) “la implementación práctica de los conceptos encara problemas objetivos, incluyendo problemas técnicos (falta de personal profesional, amenazas en la seguridad de la información, selección de tecnologías competentes) y problemas políticos (desconfianza de una parte de la población, amenazas en el control del estado, riesgos de confidencialidad).” (p.1250). Se hace referencia de estos riesgos, debido a que parte de los debates alrededor del 5G, es la necesidad que se ha obviado en fortalecer aspectos de seguridad, al contar con una red de las dimensiones esperadas, con tantos dispositivos conectados, se debe asegurar el tráfico de los datos, donde en algunos casos se habla de tráfico clasificado como sensible.

2.2.13 Industria 4.0

La industria 4.0 se dice corresponde a la cuarta revolución industrial, como se muestra en la imagen adjunta, haciendo referencia a cada una de las revoluciones anteriores.

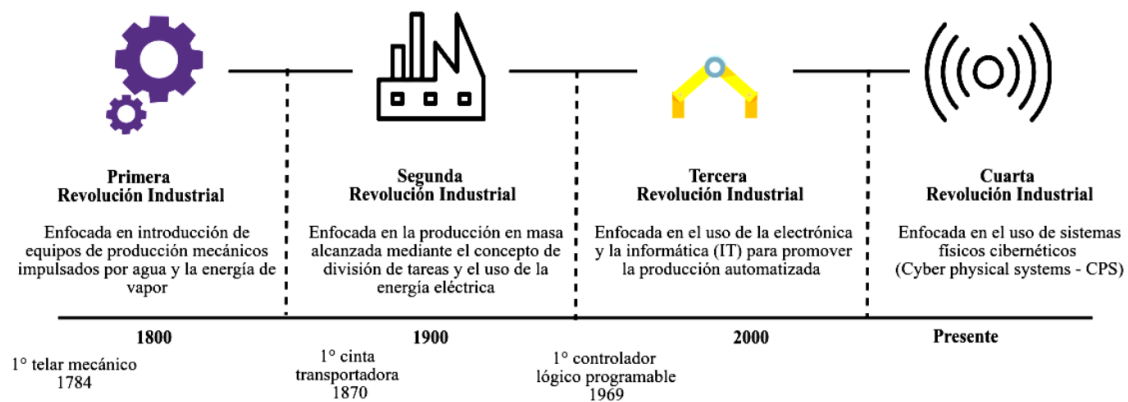


Figura 7. *Revoluciones industriales. Ortiz, L (2018), p.69*

Los autores Ortiz, L., Cadavid, S., Fernandez, J. & Gallego, C. (2018) hacen referencia a esta revolución afirmando:

(...) el avance y expansión de la información y la digitalización a nivel global, trae consigo el concepto de industria 4.0, el cual según surge por primera vez en el salón de la tecnología industrial Hannover Alemania en el año 2011. Ahora bien, el concepto de industria 4.0 describe la digitalización de las cadenas de valor, en el caso alemán el concepto es prevalente ya que según la implementación de las tecnologías y el internet de las cosas a nivel industrial favorecen la integración de los diferentes procesos de producción y de negocio, lo que se traduce en una producción eficiente y flexible con bajos costos asociados y con alta calidad.

Bajo este panorama, la computación en la nube se constituye como una tecnología habilitadora para la industria 4.0, ya que permite la digitalización de los procesos, en concordancia al señalar que la computación en lo nuevo corresponde a un modelo donde se permite el acceso ubicuo, conveniente, y bajo demanda a una piscina de recursos de cómputo configurables (redes, servidores, almacenaje, aplicaciones, y servicios) que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un mínimo esfuerzo o interacción del proveedor. (p.69)

Esta etapa de la industria, la computación en la nube, en todos sus diferentes sabores, constituyen la tecnología que promete habilitar la industria 4.0, digitalizando los procesos y modificando el modelo al brindar acceso universal a los recursos. La industria 4.0 corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción, poniendo en marcha las “fábricas inteligentes”, capaces de adaptarse mejor a los nuevos modelos y tecnologías, satisfaciendo las necesidades de los nuevos procesos de producción; asignando recursos de manera más eficiente.

El 5G puede suponer la transformación digital de la producción industrial ya que permitirá mejorar e implementar nuevos procesos productivos como el control de calidad, simulaciones, prototipados, etc. La capacidad de conexión masiva proporcionada por 5G permitirá una gestión exhaustiva y una entrega más rápida, fundamental para el comercio electrónico. Por otra parte, tecnologías como el RFID o identificación por radio frecuencia, que es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que utiliza dispositivos denominados etiquetas, de uso extendido y de bajo costo, permite informar en tiempo real de la posición y estado detallado de la mercancía, y de otros datos como temperatura, humedad, entre otros. De esta forma, el operador y sus clientes pueden conocer fácilmente las ubicaciones reales y el estado de todas las entregas, en función de lo cual el operador y sus clientes pueden planificar mejor sus actividades.

2.2.14 NarrowBand IoT

Narrowband IoT (NB-IoT) es una nueva tecnología celular diseñada específicamente para el IoT. Con las capacidades suficiente para los requisitos de bajo ancho de banda de muchos dispositivos del IoT en dominios industriales, públicos y de consumo. NB-IoT tienen las ventajas de tener bajo costo, baja energía y tener una penetración profunda en el interior de las construcciones por la radio frecuencia en la que trabaja (frecuencias bajas). Funciona en redes de telecomunicaciones existentes y brinda confiabilidad y la mejor cobertura con respecto a otros servicios.

Esta tecnología es capaz de dar cobertura entre los 10 km y los 30 km gracias a las características descritas por Seda, P., Masek, P., Stusek, M., Hosek, J. & Sedova, J. (2018) donde mencionan que “la tecnología está definida como una solución que puede ser implementada de manera transparente dentro de las redes móviles existentes. Por otro lado, la complejidad de los dispositivos IoT es alrededor de 10 veces menor cuando se compara con dispositivos Cat 1. Más importante, en el caso de NB-IoT, el ancho de banda de la red se estrecha hasta los 180KHz, proveyendo una ganancia significativa (+20dB) que al final del día satisface los requerimientos dados por la utilidad de las empresas” (p.2). Esta tecnología de ancho de banda estrecha es capaz de ofrecer conectividad a miles de dispositivos, aumentando exponencialmente esta característica en las redes 5G.

Narrowband IoT es un estándar desarrollado por 3GPP pero impulsado por las empresas Huawei y Ericsson, quienes han aportado en el desarrollo para la coexistencia del estándar con la tecnología 5G. El futuro NB-IoT se ha asegurado al involucrar la evolución del NB-IoT con las especificaciones del 5G. Además, esta tecnología busca optimizar la utilización de la red, al minimizar el tráfico de la red de datos, lo que liberará los medios y permitirá mayores conexiones

para otro tipo de dispositivos 5G; esta es una ventaja de negocio debido a la exponencial crecida en el uso de datos y dispositivos conectados, siendo una solución parcial que mejorará el rendimiento de las redes 5G.

2.2.15 Cloud computing

Cloud computing es un tipo de servicio que virtualiza los recursos de TI incluyendo redes, almacenamiento, cálculo o software/hardware y plataformas, optimiza la utilización de recursos, y tiene un servicio de facturación cuantificable; es una plataforma de servicio que está distribuida a través de la red para que los usuarios puedan acceder sus servicios en cualquier momento. Con el cloud computing madurando, más y más empresas transfieren sus servicios y datos a la nube para manejarla con el objetivo de reducir costos, mejorar procesos de negocio internos, e incrementar demandas de clientes para reducir costos de negocio. Con la tecnología de la nube siendo cada vez más popular, no solo las empresas usan la nube para incrementar las ventajas competitivas, el público en general también se beneficia de las ventajas brindadas por el amplio rango de aplicaciones en la nube. Por ejemplo, subir una foto a Instagram, aprender lo que hace un amigo en tiempo real, o los varios servicios provistos por Google: Gmail, Google Calendar y Google Docs, etc.(...). (Chao, 2019, p.103)

Ortiz, L., et al. (2018) también define el Cloud Computing como “a un conjunto de servicios ofrecidos a través de internet, mediante aplicaciones configuradas por medio de la convergencia de hardware y software en centros de datos alrededor del mundo. Según los servicios ofertados por un centro de datos, se denominan servicios en la nube, en este sentido, cuando se contrata un servicio de la dicha nube esta pasa a considerarse como una nube publica, por otro lado, el termino nube privada se usa para referirse a los centros de datos internos de un

negocio u otra organización, y estos a su vez, no están disponibles para el público general.”. (p.70).

Las definiciones presentan los muchos beneficios obtenidos a partir de ella, para las empresas ya no será necesario desplegar toda una infraestructura física, sino que puede pagar de manera virtual por lo que realmente necesita en un momento determinado; teniendo además la capacidad de crecer según la necesidad en un corto plazo, costeando únicamente por lo que necesita. Además, el ejemplo mencionado hace referencia a uno de los beneficios esperados utilizando esta técnica con las redes 5G, viendo altos niveles de utilización con aplicaciones relacionadas a redes sociales, que por lo general tienen su contenido en la nube, facilitando su acceso al usuario. 5G brinda una plataforma robusta de acceso con un ancho de banda capaz de soportar estas cantidades de datos que transitan por la red con bajos tiempos de respuesta. Las redes 5G permitirán el desarrollo de los servicios de procesamiento y almacenamiento masivo de datos en la nube como lo son el Big Data y el Cloud Computing.

2.2.16 FOG Computing

El libro blanco publicado por Cisco en el 2015 definía que fog computing agrega una capa adicional entre los dispositivos finales y la computación en la nube en la arquitectura original de la nube. En esta capa hay muchos equipos que pueden ser llamados fog nodes. En la realidad, cualquier equipo con cálculo, almacenamiento, y capacidades de conexión a Internet puede ser usado como un nodo fog, incluyendo interfaces de tarjetas de red (NIC), puntos de acceso, switches, routers, servidores integrados, monitores de video, y

controladores industriales. Usando estos nodos fog para procesar y analizar datos IoT puede reducir significativamente la latencia máxima permitida. (...).

Fog computing y cloud computing actualmente tienen una relación complementaria. Esto no significa que no se necesita el cloud computing después de tener fog computing. Es solo que la adición de fog computing puede tomar una carga del procesamiento del cloud computing. El reporte de Cisco también hacía mención especial de como el fog computing y el cloud computing asignan tareas entre ellos para alcanzar un procesamiento computacional eficiente. Por ejemplo, eventos de emergencia en tiempo real son directamente ubicados en el fog computing para su procesamiento mientras eventos menos urgentes son subidos al cloud computing para su procesamiento. (Chao, 2019, p.103)

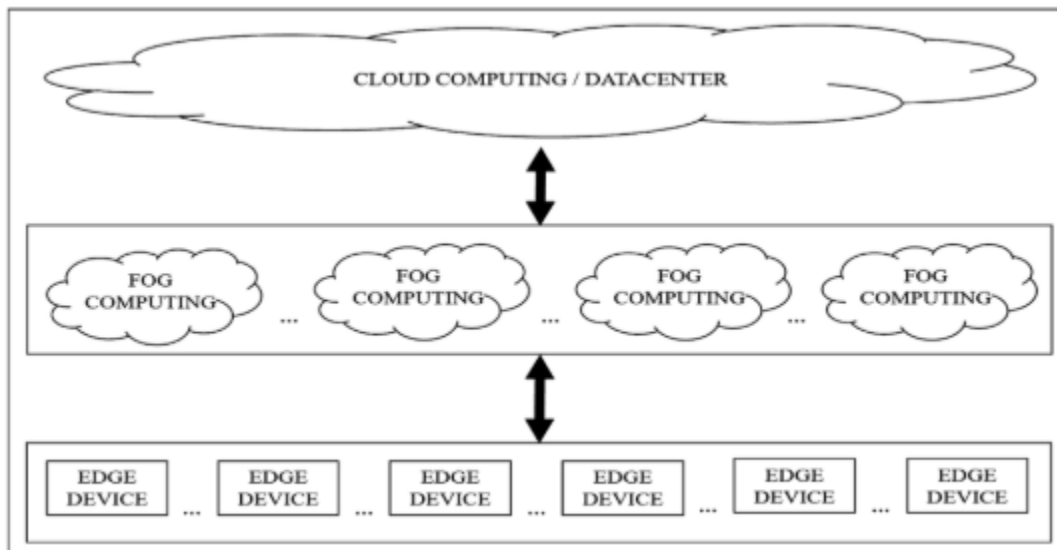


Figura 8. Framework del Fog Computing. Chao, K (2019), p.103

La computación en la niebla, o fog computing, se puede decir que es una capa intermedia de centros de datos descentralizados más pequeños que los ubicados en lo que conocemos como computación en la nube, donde se almacena la mayor cantidad de datos, teniendo con esta infraestructura una capa más cercana de los orígenes. Este concepto se extiende desde donde los

terminales originan los datos, hasta el destino central de la información en las nubes públicas o los centros de datos privados. El objetivo final del fog computing es que parte de los datos que se emiten por los dispositivos conectados a la red se almacenen en los mismos dispositivos, en lugar de enviarlos directamente a la nube.

El término en sí nace de la empresa multinacional Cisco, haciendo referencia metáfora donde se define una acumulación de gotas minúsculas de agua como niebla (fog) o como nubes (clouds) dependiendo de la altura en la que se presente el fenómeno. Haciendo la comparación a al ambiente tecnológico, el fog computing acerca el procesamiento de los datos al usuario final (nivel del suelo), esto por medio de los nodos fog, que son nodos de procesamiento previos a la nube, actúan como mediadores entre los dispositivos IoT conectados y la nube, acortando así las vías de comunicación y reduciendo el caudal de los datos en las redes externas.

Con el objetivo de tener los datos en una capa inferior, la exigencia en el tráfico va a crecer, se dice que el Fog Computing es el futuro de la nube en el mundo 5G/IoT; debido a que con el auge del IoT, la inteligencia artificial y la realidad virtual, la computación en la niebla es más que un objetivo interesante, pasa a ser una necesidad; debido a que será imposible realizar la carga de toda la información en la nube, incrementaría demasiado los tiempos de latencia, la movilidad se vería comprometida, los anchos de banda consumidos, además de generarse retos en lo que respecta a privacidad y seguridad. Fog computing facilitará con su infraestructura, el alcanzar los objetivos y capacidades ofrecidas por la tecnología de quinta generación.

2.2.17 Edge computing

Edge computing es una tecnología de computación que permite que los datos recogidos por los dispositivos, por ejemplo, sensores IoT, se procesen más cerca de donde se crean en lugar de enviarlos a los centros de datos o a la nube. De esta forma se agiliza el flujo de tráfico desde dispositivos IoT y poder proporcionar análisis de datos locales en tiempos óptimos.

Sitton-Candanedo, I., & Corchado, J. (2019) lo define “como una tecnología emergente que permite que las aplicaciones se ejecuten en nodos de red. En Edge Computing, los nodos se pueden centralizar, distribuir (core) o colocar al final de la red, en este último caso se denominan "edge", lo que permite un mayor procesamiento distribuido de toda la información generada por los dispositivos periféricos. El interés generalizado en esta tecnología se debe a su asociación con Internet de las cosas (IoT) y su interrupción en diferentes escenarios, como resultado de la cantidad de dispositivos que pueden conectarse a Internet, generando datos y requiriendo que las organizaciones mejoren su productividad a través de la administración y el análisis de estos datos.”. (p.35).

El “edge computing” es un método que optimiza los sistemas de computación en la nube mediante el procesamiento de datos en el borde de la red, solucionando el paradigma agregado por el cloud computing, que inicialmente se presentaba como la solución de conectividad para el IoT (donde la latencia se incrementaba), acercando la fuente que genera los datos, por ejemplo, en los sensores vinculados al IoT. Estas técnicas reducen el ancho de banda de comunicaciones necesario entre los sensores y el centro de datos, además de proporcionar una gestión más eficiente al utilizar los recursos solo cuando son necesarios y no requerir estar continuamente conectados a la red, haciendo uso de anchos de banda innecesarios. Actualmente, el “edge computing” cubre una amplia gama de tecnologías tanto de software como de hardware que

incluyen sensores inalámbricos, análisis de datos móviles, redes y procesos peer-to-peer (P2P) y entre otros.

La correcta conectividad masiva se apoya en nuevas interfaces aéreas que deberían optimizar los recursos de radio e infraestructura disponibles, debido a que, aunque 5G ofrece una infraestructura más robusta, de igual forma se debe optimizar su uso para extender la utilidad de la tecnología, para lo que se optimizan áreas que van desde el funcionamiento de protocolos y la gestión de los recursos radioeléctricos, hasta el diseño de las ondas. Acá se observa la importancia que la “computación en los extremos” tiene en las redes 5G, ya que permite que los datos sean agregados, resumidos y analizados en los extremos, minimizando el volumen de los que necesitan ser transmitidos a la nube, reduciendo el recorrido de origen a destino, lo que puede incidir positivamente en los tiempos de respuesta y los costes de transmisión de la red. Aunque el 5G optimiza, todavía necesita una mejor gestión del espectro ya que el incremento requiere la transmisión de infinidad de datos que las actuales redes no podrían soportar.

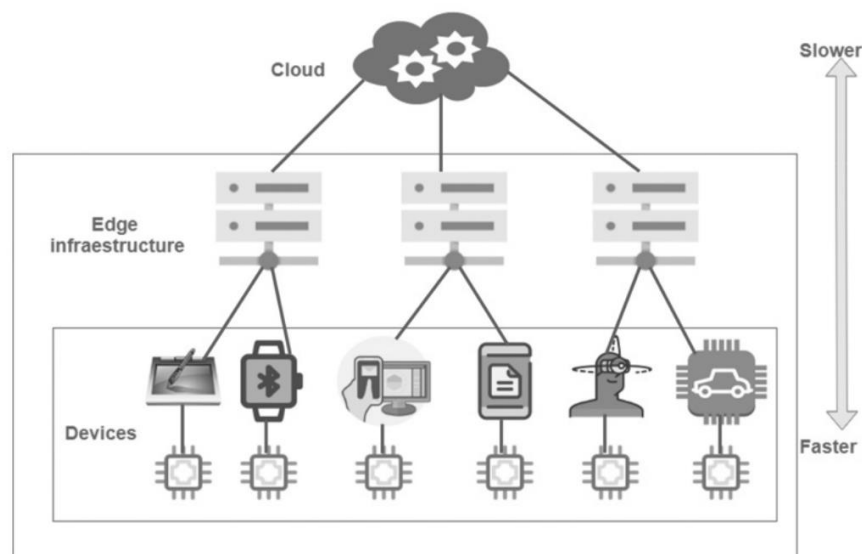


Figura 9. Edge Computing y Cloud Computing. Sitton-Candanedo, I., & Corchado, J. (2019) p.36

Por otro lado, para lograr una reducción de la latencia, desde los 40-50 milisegundos de las redes 4G, a menos de 5 milisegundos o incluso un milisegundo, como exigirían algunos casos, será necesario una adopción masiva del Edge Computing, es decir, de llevar el contenido, la aplicación o la función hasta muy cerca de la antena, para que el recorrido que realice la señal en la ida y la vuelta por la red, sea el menor posible. Es por esto por lo que para lograr satisfacer las necesidades del 5G, se debe optar por el uso de este tipo de infraestructuras.

2.2.18 Software Define Network (SDN)

SDN consiste en la separación del plano de control de la red con el plano de envío de datos (forwarding plane), y donde el plano de control controla muchos dispositivos. Esta es una arquitectura emergente dinámica, manejable, de bajo costo y adaptable, que la hace ideal para optimizar el ancho de banda, factor determinante hoy en día. Esta arquitectura descompone las funciones de control y re-envío de paquetes, habilitando el plano de control, haciéndolo programable en sus capas inferiores, y siendo abstracta para aplicaciones y servicios de red.

SDN provee una amplia oferta de arquitecturas, desde la más simple, el método SDN centraliza el control de la red al separar la lógica de control de los otros recursos computacionales, como el enrutamiento de paquetes en la red. Todas las arquitecturas tienen un tipo de versión de un controlador SDN, como pueden ser southbound y northbound applications program interfaces (APIS). El controlador se dice que es el “cerebro” de la red, es quien ofrece una vista centralizada de toda la red, habilitando al administrador a desestimar sistemas subyacentes, como lo pueden ser los equipos de red, y su función en los planos de forwarding, y el manejo que se le da a los paquetes.

Para comprender mejor la idea de un controlador, considere el caso que se muestra en la figura, en el que un controlador SDN centraliza todas las funciones importantes del plano de control. Primero, el controlador se encuentra en cualquier lugar de la red que tenga accesibilidad IP a los dispositivos en la red. Cada uno de los dispositivos de red todavía tiene un plano de datos. Sin embargo, tenga en cuenta que ninguno de los dispositivos tiene un plano de control. En la variación de SDN como se muestra en la figura, el controlador (o un programa que hace uso del controlador) programa directamente las entradas del plano de datos en las tablas de cada dispositivo. Los dispositivos de red no pueblan sus tablas de reenvío con procesos tradicionales de plano de control distribuido. (Odom, W., 2017, p.767).

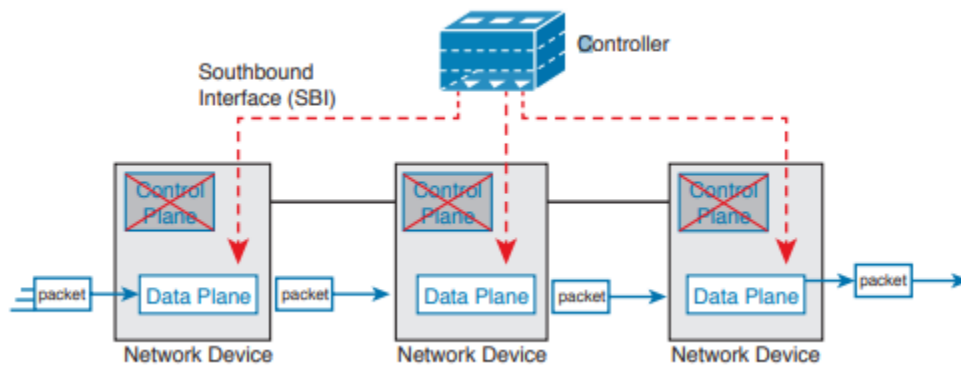


Figura 10. Data Plane centralizado y un Data Plane distribuido. Odom, W. (2017). P.767

SDN es una arquitectura de red que posibilita el aprovechamiento de las redes 5G a lograr su cometido, como es el caso del Network Slicing, que será mencionado a continuación.

2.2.19 5G Network Slicing

El slicing network consiste en la segmentación o corte de red, es un tipo de arquitectura virtual, consiste en el particionamiento de la red en segmentos virtuales que pueden conectarse de extremo a extremo. Está basado en los mismos principios que se las redes definidas por software (SDN) y la virtualización de funciones de red (NFV) en redes fijas. Esta segmentación es uno de los aspectos más innovadores de la arquitectura 5G, donde la habilidad de asignar estas porciones virtuales a diferentes escenarios o casos de uso. Cada caso de uso es asignado con un conjunto de recursos optimizado y una topología de red que especificará características como conectividad, velocidad y capacidad. Se dice que esta segmentación permite la creación de múltiples redes virtuales, en una única infraestructura física compartida. “En esencia, cada caso de uso requiere su propio segmento *slice* de red. Las redes deben ser construidas en una manera que permita velocidad, disponibilidad, capacidad, y cobertura para alojarse en segmentos lógicos para poder satisfacer las demandas de cada caso de uso” (Sundhar, & Miller, 2017, p.27).

Otra característica que hace diferente las conexiones 5G de todas las generaciones anteriores es la creación de una red de extremo a extremo, que funciona con niveles de servicio y criterios de rendimiento definidos para cada segmento. Es decir, la posibilidad de crear “segmentos virtuales” de la red que facilita que cada sección pueda gestionarse de forma independiente. Este método permite laminar la red 5G en múltiples redes virtuales. Esto le confiere una mayor flexibilidad y nuevas capacidades, ya que cada segmento puede utilizarse de forma autónoma. Este “slicing” ofrece la posibilidad de eliminar conflictos de priorización de tráfico, proporcionando un alto grado de versatilidad que admiten usos diferentes de manera simultánea. El 5G está diseñado para construir, dentro de sí, diferentes redes: unas con más latencia (más lentas) pero con capacidad para conectar millones de objetos por kilómetro

cuadrado con muy poca velocidad, como lo requerido por dispositivos IoT, y otras con bajísima latencia, pero con muchos menos equipos, como por ejemplo los requeridos para coches autónomos o maquinaria industrial.

La tecnología 5G ofrece 4 ventajas significativas, mucha más velocidad de transmisión de datos, mejoras en los tiempos de la latencia, redes virtuales a medida (Network Slicing) y capacidad de conexión para millones de dispositivos (IoT).

2.2.20 IaaS

La nueva generación móvil puede presentar para los operadores de telefonía inalámbrica un paso para la evolución de la estrategia y el negocio, pasando de ofrecer únicamente conectividad de alta velocidad, a convertirse en un facilitador de los ecosistemas de la siguiente generación, añadiendo valor a las soluciones. Esto se podría hacer de manera independiente por cada operador, variante que exigiría una alta inversión, o a través de colaboraciones entre diferentes entidades, asociando empresas especializadas en brindar servicios específicos; esta promete ser una variante atractiva que amplíe la oferta del negocio. Innovando de esta manera nuevas oportunidades de negocio, tanto para las TELCOS, como para los fabricantes de infraestructuras de red. Este modelo facilitaría asociaciones que podrían establecerse a través de múltiples capas de servicios, como el uso compartido de la infraestructura, la gestión de los recursos o una mayor oferta de los modelos ‘as a Services’ (XaaS).

Podemos hablar de proveedores de servicios de red, como lo son las TELCOS, orientados a ofrecer nuevas variantes de formatos ‘as a Services’ como, por ejemplo:

- Infraestructura como Servicio (IaaS)

- Software como Servicio (SaaS)
- Plataforma como Servicio (PaaS)
- Red como Servicio (NaaS)

En lo que respecta a IaaS, Ortiz, L., et al. (2018) lo define como una infraestructura que “se divide en nubes computacionales y fuentes de recursos, las primeras permiten acceder a recursos computacionales como CPUs, hipervisores y utilidades. Las segundas contienen recursos escalables como servicios a usuarios, es decir, posibilitan el mejoramiento de la capacidad de visualización.”. (p.70).

Infraestructure as a Service es una forma de ‘cloud computing’ que enlaza computación fundamental, redes y recursos de almacenamiento a usuario en un modelo ‘bajo demanda’ por medio de Internet. Este tipo de modelo permite a los clientes pagar según el uso requerido. Corresponde a un modelo escalable que limita los recursos según sea la necesidad, reduciendo la inversión de grandes cantidades de dinero en infraestructura innecesaria en un momento determinado, facilitando el crecimiento o decrecimiento según sea la necesidad del negocio en un periodo de tiempo determinado.

Las plataformas IaaS están construidas a partir de una colección de recursos físicos y virtuales, que proporcionan a los consumidores con los bloques básicos requeridos para ejecutar sus aplicaciones y cargas de trabajo en la nube. Estos Data Centers se encuentran en ubicaciones con las capacidades suficientes de soportar siniestros, generalmente con sus respectivas redundancias y distribuidos alrededor del mundo, con el poder suficiente de garantizar continuidad de negocio; y son los dueños de esta infraestructura los que tienen la posibilidad de aliarse a los proveedores de servicios para ofrecer productos con valor agregado, aprovechando los beneficios ya mencionados de la tecnología 5G.

2.2.21 SaaS

Software as a Service (SaaS) es un modelo que permite a los usuarios conectarse y hacer uso de aplicaciones basadas en la nube por medio de Internet. Ortiz, L., et al. (2018) indica un modelo “referido como un servicio o nubes de aplicación, ofrece implementaciones de funciones específicas de negocios y procesos de negocios que son provistos a través del servicio en la nube, algo relacionado con el tema específico de industria 4.0.” (p.70). Como se comentó, la nueva revolución industrial está modificando el paradigma actual que conocemos de la industria, buscando la digitalización de la producción, donde un modelo SaaS presenta un ejemplo muy claro, al ser cada vez menos requerido el desarrollo de soluciones de software y el hardware que lo soporte; sino que se paga por una solución según el uso que se le dé a la misma. El más reciente ejemplo, muy en uso hoy día, es la plataforma de Microsoft Office 365.

SaaS provee una solución completa de software donde se paga según el uso que se le dé a un proveedor de servicios en la nube, donde interacciona también el proveedor de servicios de la red, en este caso los TELCOS; y a partir de esta relación nace la oportunidad de negocio de ofrecer una solución integral, donde se incluya tanto el servicio de software, como la utilización de los anchos de banda y de la red.

Algunas ventajas ofrecidas por este modelo de negocio son:

- Garantiza acceso a aplicaciones sofisticadas.
- Se paga solo por lo que se usa.
- Uso de software cliente gratuito (frecuentemente por medio de web browsers).
- Permite alta movilidad.
- Permite acceso a datos desde cualquier lugar.

2.2.22 PaaS

Cloud Platform Services o Platform as a Service PaaS es muy utilizada para aplicaciones y otros desarrollos, donde se provee componentes de software en la nube; en el cual los desarrolladores obtienen un framework adonde pueden construir, desarrollar o personalizar aplicaciones. PaaS facilita el desarrollo, prueba y puesta en marcha de aplicativos de manera ágil, rápida, sencilla y con bajo costo. Con esta tecnología los usuarios pueden manejar ambientes virtualizados, servidores, almacenamiento, redes y software especializado, siendo todo administrado por los mismos desarrolladores. PaaS es tanto un desarrollo completo, como un ambiente de desarrollo en la nube, con recursos que permiten entregar todo desde una nube sencilla, hasta una sofisticada solución de aplicativos.

Ortiz, L., et al. (2018) define que PaaS “provee recursos computacionales, a través de una plataforma sobre la que los servicios y aplicaciones pueden ser desarrollados y alojados.” (p.70); siendo tanto una plataforma de desarrollo como de implementación. Al igual que IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS incluye infraestructura (servidores, almacenamiento y redes), pero además incluye middleware (una capa de abstracción de software distribuida, que se sitúa entre las capas de aplicaciones y las capas inferiores), herramientas de desarrollo, servicios de inteligencia de negocios (BI), sistemas de administración de bases de datos y más.

PaaS está diseñado para soportar el ciclo completo de vida de aplicaciones web, desde su desarrollo, pruebas, puesta en marcha, administración y actualizaciones, todo esto evitando la necesidad de grandes inversiones y la complejidad de comprar y administrar licenciamiento de software, las capas medias de las aplicaciones de infraestructura y el middleware, los contenedores de plataformas virtuales u otras herramientas de desarrollo y recursos.

La siguiente ilustración presenta los servicios incluidos por cada uno de los paquetes ofrecidos por las tecnologías “as a Service”:

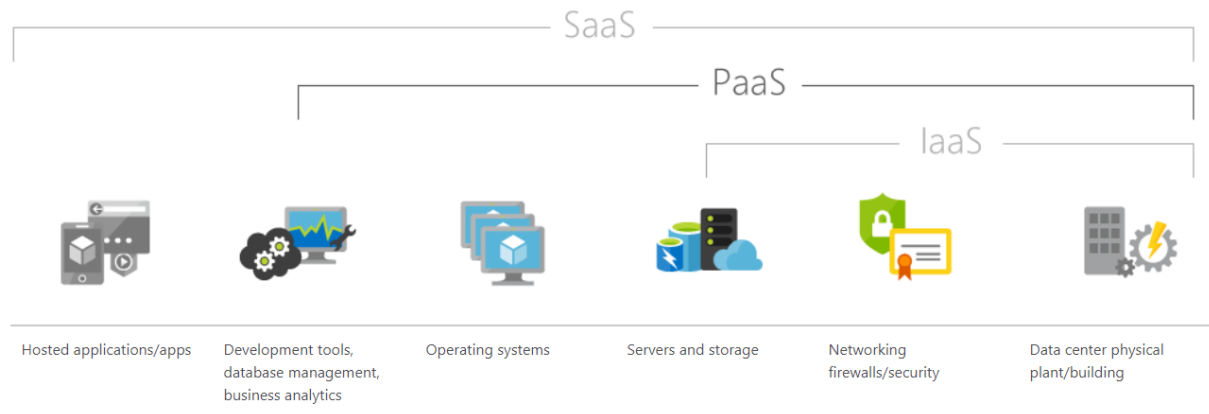


Figura 11. Catálogo de productos XaaS. Recuperado de: <https://azure.microsoft.com/en-in/overview/what-is-paas/>

Algunos escenarios comunes donde se hace uso de esta tecnología es con en el desarrollo de frameworks, en el análisis o inteligencia de negocios y en otros servicios adicionales, como, por ejemplo la mejora de aplicativos, workflows, seguridad, etc. PaaS, al igual que las mencionadas IaaS y SaaS, y como se muestra en la imagen, requieren trabajar en un ambiente “siempre conectado”, requiriendo de anchos de banda suficientes y consumo de datos constante; lo que genera una oportunidad de negocio para los proveedores de servicio, que como se ha comentado, tienen la posibilidad de trabajar en alianza con otras empresas, ofreciendo soluciones completas a las empresas que cada vez hacen uso con mayor frecuencia de este tipo de plataformas en línea.

2.2.23 NaaS

“Alineado con otras ofertas como son IaaS y PaaS, NaaS se opone a disposición como una red y servicio de valor agregado como utilidad basada en modelo de pago por uso. NaaS utiliza una infraestructura de red virtualizada para proveer servicios de red; habilitando acceso a la infraestructura de red de manera directa y segura. Los usuarios pueden desarrollar protocolos de red personalizados; sin embargo, el proveedor del servicio NaaS es el responsable de mantener los recursos de red y asegurar el soporte de la carga de trabajo” (Vadapalli, 2017, p. 137).

Una cuarta opción de modelos “as a Service” viene a ser presentada como la oferta que promete mayores beneficios para las TELCOS, sin la necesidad de terceros. Network as a Service NaaS, consiste en la oferta de servicios de red a clientes que no quieran construir su propia infraestructura. NaaS es un paquete de recursos de red, servicios y aplicaciones, como un producto que puede ser ofrecido a numerosos usuarios, usualmente con contratos por periodos de tiempo definidos que justifiquen la inversión necesaria. Estos pueden incluir servicios de conectividad WAN, conectividad a Data Centers, enlaces bajo demanda (Bandwidth on demand), servicios de seguridad y otras aplicaciones.

NaaS tienen varios “sabores” en los que puede ser ofertado, donde las plataformas de virtualización proveen otras variantes de NaaS, relacionado a otros servicios en la nube, siendo posible combinar los ya mencionados servicios XaaS con el NaaS en el despliegue de un catálogo de productos atractivos a los clientes.

Y es que la configuración de equipos de red y sus protocolos, los optimizadores WAN y otros componentes como los son los firewalls y los dispositivos SDN WAN, puede requerir un

trabajo complejo; con NaaS, estas responsabilidades son administradas por los proveedores de servicios.

Por eso se dice que los proveedores de servicios de red (NSP) se pueden orientar a ofrecer nuevas variantes de formatos 'as a Services' tales como las mencionadas Infraestructura como servicio (IaaS), Plataforma como servicio (PaaS) o Red como servicio (NaaS)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

5G es una tecnología en desarrollo, no obstante, el enfoque que se pretende dar al proyecto consiste en el estudio de una futura implantación de una nueva tecnología en el país y predecir la posible problemática al avanzar localmente, desarrollando un modelo que aporte en la fluidez y minimice los obstáculos en esas implementaciones.

Para lograr el cumplimiento de este objetivo, se realiza una investigación de campo mixta, aplicando criterios cualitativos al análisis de la situación de la tecnología, y criterios cuantitativos al análisis de oportunidades de mercado aplicado en una encuesta a clientes potenciales; donde la recopilación de información no se encuentra delimitada a un entorno cerrado, sino que se extiende a ambientes reales no controlados, siendo necesario conocer aspectos técnicos específicos de la tecnología, para, de esta manera tener la capacidad de comprender y desarrollar el modelo aplicable al país.

Durante la investigación de campo, la información se recolecta directamente de las fuentes y de la realidad en la que se desenvuelven, a pesar de ello, no se manipulan ni modifican las variables, es decir que los datos son obtenidos sin alterar las condiciones existentes, ya que la tecnología no se encuentra aún disponible y la situación actual de las empresas de telecomunicaciones se encuentra en una etapa de preparación para la tecnología, analizando aspectos técnicos y la necesidad social que impactará el mercado.

El objetivo de esta investigación es la de interpretar y buscar soluciones a situaciones, problemas o necesidades, en este caso el problema identificado es la implementación de una nueva red de telecomunicaciones que promete innovar, no solo el acceso a la red y la capacidad de la telefonía móvil, sino abrir la puerta al crecimiento de modelos IoT, necesario para la

evolución tecnológica de un país que busca posicionarse como una economía competitiva a nivel mundial.

El diseño de la investigación se dice es flexible, según las necesidades del investigador con base en la realidad del entorno donde se desarrolla la investigación y los involucrados. La estructura de pasos a seguir consiste en la definición y conocimiento de la tecnología, posterior a un análisis de experiencias de desarrollos previos (en países donde la tecnología ha implementado pruebas y desarrollos), para luego evaluar la situación actual de las TELCOS que operan en el territorio nacional, y finalmente elaborar un modelo de implementación como guía para el desarrollo del proyecto en el país.

Enfoque de la investigación

Aprovechando algunas características, como la flexibilidad ofrecida y una menor formalidad a la hora de recopilar la información, además de satisfacer el objetivo de la investigación, que no propone un resultado tangible o medible a nivel cuantitativo, se da un enfoque cualitativo a la investigación.

La investigación cualitativa nos ayuda a comprender la situación actual, el porqué de los acontecimientos sucedidos, descubrir cualidades de manera holística, no como una colección de partes. La obtención de datos cualitativos nos describe o explica, a partir de interacciones sobre experiencias, la posición actual, que previo a un estudio, nos mostrará una serie de pasos a seguir en busca de un modelo de trabajo para el desarrollo de la tecnología 5G. Es por esto por lo que se dice que los datos cualitativos no son numéricos, como sí lo son cuando respecta a su contraparte, los cuantitativos, los cuales son analizados por medio de métodos estadísticos y se presentan en tablas y gráficos.

Por último, la investigación cualitativa permite recolectar todas las consecuencias de un entorno, siendo este para lo que respecta la tecnología 5G, uno muy amplio, como se ha mencionado, abarcando aspectos sociales, políticos, legales y muy propios de cada empresa de telecomunicaciones, lo que engruesa el ámbito del entorno que se debe analizar para tener una visión completa de temas a considerar y lograr un desarrollo que no obvие elementos importantes.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para contribuir con el desarrollo de la investigación se hace uso de información proveniente de diversas fuentes, las cuales se categorizan según su origen. Estas fuentes pueden provenir de documentación recolectada previamente, como por el análisis de datos o situaciones reales, o de encuestas realizadas que demuestran la situación actual del mercado.

A continuación, se presenta las fuentes utilizadas como apoyo en la investigación.

Fuentes Primarias

Para obtener un panorama de la situación actual de las empresas de telecomunicaciones ante el reto de lograr un despliegue de una tecnología tan innovadora como lo es 5G, se ha realizado una entrevista a personal con conocimiento en diversas áreas de las 3 empresas de telecomunicaciones en el territorio nacional, además de expertos de 2 empresas desarrolladoras de la tecnología. Adicional, se aplicó una encuesta a clientes potenciales con el propósito de recopilar información de oportunidades en el mercado con una muestra de 13 sujetos, universo definido por la limitante ya mencionada de la situación país causada por la pandemia.

Las entrevistas tienen como objetivo obtener información determinada, donde se intercambia información y opiniones con una persona capacitada en un tema de sustancial

importancia, en lo que respecta al tema de las telecomunicaciones en redes 5G. El tipo de entrevista es no estructurada, la cual permite una comunicación más flexible y abierta, que proporciona un contenido menos estructurado, pero más rico en lo que respecta al análisis de situaciones existentes dentro del entorno, y los requerimientos y retos conocidos por las compañías, que se deben satisfacer para evolucionar en el proceso de facilitar el medio para un despliegue exitoso de una nueva red de telecomunicaciones.

Entre las ventajas aprovechadas por las entrevistas no estructuradas están su adaptabilidad y libertad, que propician un ambiente ameno y conforme se avanza en la conversación, se permite ahondar en temas que pueden ser de provecho para la investigación. Por otro lado, este tipo de entrevistas también tienen algunas desventajas, como, por ejemplo, obviar u omitir factores de interés, sin embargo, para minimizar este detalle se ha preparado una serie de preguntas, las cuales serán realizadas al entrevistado con información identificada como importante.

Fuentes Secundarias

Se hace uso de fuentes secundarias para reforzar el conocimiento y entendimiento de la investigación, ya que es de suma importancia comprender el entorno y terminología, así como el funcionamiento de las redes 5G. A partir de este conocimiento adquirido, se puede lograr un mayor aprovechamiento del tiempo solicitado a los sujetos encuestados y extracción de información proveniente de fuentes primarias.

Las fuentes secundarias se dicen contienen datos o información previamente elaborado a partir de fuentes primarias, siendo estos, textos que implican generalización, análisis, síntesis o interpretaciones basadas en fuentes primarias. Como ejemplo están los resúmenes, diccionarios, enciclopedias, libros, entre otros.

La utilización de estas fuentes secundarias, en lo que corresponde a la investigación, se da para ampliar el conocimiento en temas como los citados en el capítulo dos de esta investigación, además de apoyar la correcta elaboración de la estructura y contenido del documento. Estas fuentes se encuentran referenciadas en el capítulo final del texto, identificado como referencias bibliográficas.

Sujetos de Información

A continuación, se presenta una tabla con los sujetos utilizados para el levantamiento de información, los cuales difieren en especializaciones y empresas, con el objetivo de obtener un panorama más amplio de las diferentes empresas de telecomunicaciones y proveedores de servicios.

Puesto Laboral o Descripción general	Profesión u Oficio	Empresa	Relación con el tema
Luis Arturo Castro	Ingeniero	ICE Kolbi Costa Rica	Participe de charlas y propuestas para la implementación de la tecnología.
Jose Pablo Rodriguez	Ingeniero de Clientes Masivos	Claro Costa Rica	Conferencista de la tecnología 5G en CR
Oscar Chacón	Gerente Comercial	Claro Costa Rica	Promotor de la tecnología y las oportunidades de mercado
Waldir Pineda	Ingeniero / Consultor	Telefónica Costa Rica	Ingeniero implementador
Marcel Aguilar	Account Director	Huawei Costa Rica	Empresa encargada del desarrollo de redes de telecomunicaciones en Costa Rica.
Fabián Monge	Líder de Pre-Venta de Redes y Servicios Gestionados para Latinoamérica	Ericsson LATAM	Empresa encargada del desarrollo de redes de telecomunicaciones en la región.

Tabla 3. Sujetos de información. Fuente: Elaboración propia.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Existen diversas formas de recolectar información, las cuales se deben seleccionar y adaptar, con el objetivo de lograr un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles y la mejor comprensión de la información recopilada. Factores importantes que se deben considerar a la hora de seleccionar que técnica de recolección de datos se debe utilizar va muy ligado al tipo de investigación que se está desarrollando, a la naturaleza del objeto de estudio, los recursos con

los que se cuenta, la experiencia o conocimiento que se tenga sobre el tema, al tipo y la naturaleza de la fuente de los datos, entre otros factores.

Tomando en consideración los factores previamente mencionados, además de la naturaleza innovadora de la tecnología 5G y sus peculiares características de ser un proyecto en desarrollo a nivel mundial por grandes y reconocidas empresas tecnológicas, se hace uso de la entrevista como herramienta para la recolección de información.

Para Denzin y Lincoln (p. 643, 2012) la entrevista es “una conversación, es el arte de realizar preguntas y escuchar respuestas”. Como técnica de recogida de datos, está fuertemente influenciada por las características personales del entrevistador. La entrevista consiste en la interrelación o diálogo entre personas, las cuales son un entrevistador y el entrevistado, dirigida con un propósito específico, el cual consiste en la identificación de la situación actual, los retos y avances en el país en lo que respecta al futuro despliegue de la tecnología. Para esto se hace uso de un formato de preguntas y repuestas, los cuales han sido previamente elaborados y se adjuntan en la sección de anexos, en formato de cuestionario.

Entre las ventajas ofrecidas y que declinaron hacia el uso de esta técnica, está la posibilidad de establecer un diálogo abierto, asimétrico, que permite recolectar información de tipo primaria. Este cuestionario se ha elaborado con preguntas abiertas, las cuales ofrecen la posibilidad de conocer mayores detalles y no se limitan a una respuesta cerrada, como es el caso de los cuestionarios elaborados a partir de preguntas cerradas.

El tipo de entrevista predominante durante la investigación es semiestructurada, donde previamente se elabora un guion relacionado al tema y a la información que se desea obtener a partir de la interacción, con preguntas abiertas, que permitan al informante expresar sus opiniones,

matizar las respuestas y hasta cierto punto, permitir desviarse del hilo conductor pretendido por el investigador, al ir reconociendo información importante en temas emergentes durante la entrevista, intentando de esta forma mantener una conversación natural. De esta manera, durante el transcurso de la entrevista, se puede relacionar respuestas sobre una categoría con otras que vayan fluyendo, generando nuevas preguntas de temas enlazados.

Esto se aplica de la manera descrita, al no contar con una muestra de sujetos uniforme, es decir, no todos los entrevistados corresponden a ingenieros expertos en el área técnica, o personas encargadas del mercadeo del producto, o gerencias; inclusive, no solo se pretende analizar información de empresas de telecomunicaciones, sino también de proveedores que ofrecen tanto productos como servicios a los TELCOS. A partir de esta situación, la encuesta no puede presentar una línea tan definida como la ofrecida por un tipo de entrevista más estructurada.

3.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Se dice que las variables en una investigación son factores que pueden ser manipulados y medidos, por lo tanto, pueden ser características analizadas, ya sea de manera cuantitativa o cualitativa, dependiendo del tipo de investigación y el origen de los datos, con la finalidad de obtener resultados que serán posteriormente analizados. Este análisis se puede llevar a cabo de manera directa o indirecta, donde puede estar o no presente dentro del análisis; es por esto por lo que se dice que es inconstante y mudable. Las variables se pueden definir de manera conceptual, operativa e instrumental.

Definición conceptual

Se refiere a la definición o exposición con claridad de la variable que vamos a analizar, se puede decir que es una definición conceptual, similar a la encontrada en los diccionarios.

Definición Operacional

Establece los procedimientos que el personal debe analizar para lograr definir los criterios de medición y poder comprender la clase de datos con los que se trabaja durante la investigación. Además, delimita el ámbito para la recolección de la información, a manera de establecer el análisis que permite obtener las conclusiones a partir de las variables.

Definición Instrumental

La definición instrumental describe el estudio de la variable, además de los medios o instrumentos utilizados para la recolección de la información. Aquí es donde pueden mencionarse las encuestas, entrevistas, cuestionarios, experimentos, entre otros.

Cuadro de Variables

A continuación, se presenta el cuadro de variables identificadas para la investigación, donde se presenta la relación de las variables con los objetivos específicos definidos para el proyecto, y las diferentes definiciones para las variables.

Objetivo Específico	Variabes	Variable Conceptual	Variable Operacional	Variable Instrumental
Determinar las ventajas competitivas que justifiquen la inversión requerida por los TELCOS para la implementación de la tecnología 5G.	Casos de uso	Productos, oferta, acciones y actividades a realizar	Catálogo de productos y servicios	Cuestionarios y entrevistas
Establecer un listado de prioridades con las actividades a ejecutar requeridas para habilitar la nueva tecnología.	Requerimientos técnicos	Actividades y técnicas requeridas para la implementación.	Cronograma de actividades de acondicionamiento	Resultado del análisis de requerimientos
Reacondicionar el espectro de radiofrecuencias del país.	Espectro de radiofrecuencia	Radiofrecuencias asignadas a las operadoras.	Habilitación de las frecuencias requeridas para la tecnología	Distribución de radiofrecuencias de SUTEL
Capacitar el personal requerido en las diferentes áreas, cubriendo todas las fases del proyecto para robustecer la implementación y aseguramiento de la inversión.	Capacitación del personal	Conocimiento de la tecnología.	Capacitaciones y desarrollo del personal	Cuestionarios y entrevistas
Optimizar la infraestructura actual para facilitar el medio donde se desplegará la red de telecomunicaciones.	Infraestructura de los TELCOS	Topología física y lógica de los TELCOS	Cronograma de actividades y ventanas de mantenimiento	Resultado del análisis de requerimientos
Crear un plan que incentive a la sociedad y la involucre en el desarrollo del proyecto, para fomentar el aprovechamiento de la tecnología y minimizar el riesgo de la inversión.	Casos de uso	Productos, oferta, acciones y actividades a realizar	Catálogo de productos	Cuestionarios y entrevistas

Tabla 4. Cuadro de variables. Fuente: Elaboración propia.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se dice que el diseño de investigación presenta el conjunto de métodos y procedimientos utilizados durante la investigación, mostrando el paso a paso, al estilo de una receta, del plan que se lleva a cabo en el estudio. A partir del diseño se logra la colección y el análisis de las variables específicas en la investigación y va a afectar los resultados y la manera en que estos se obtengan.

La figura 12 muestra el diseño planeado para el desarrollo del modelo para la implementación de la tecnología 5G en Costa Rica, posterior a la imagen, el detalle de las actividades incluidas en cada una de las etapas descritas.

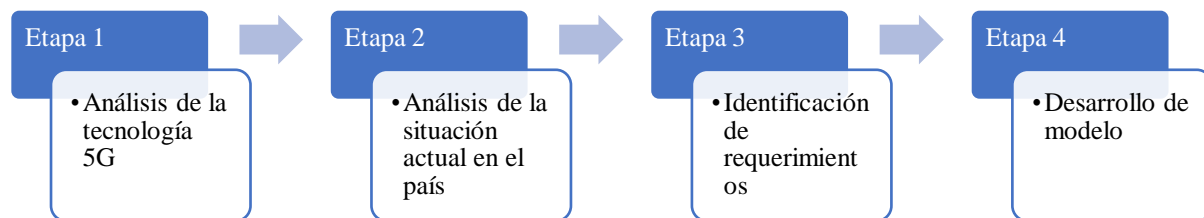


Figura 12. Diseño de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1- Análisis de la tecnología 5G: previo al desarrollo de un modelo de red de una tecnología tan innovadora como lo es 5G, se debe adquirir un conocimiento general con respecto al tema, por lo que esta etapa se identifica como una etapa de estudio y preparación, no solo en lo que respecta a factores técnicos, sino también administrativos como legales. Además, por la naturaleza de la investigación, se debe hacer un estudio del panorama internacional, y conocer cuál es la realidad de la tecnología fuera de nuestras fronteras, información que nos aportará en la identificación de los casos de uso y la problemática existente al desarrollar escenarios de prueba. El objetivo de esta fase es adquirir el conocimiento necesario para el desarrollo de un modelo de implementación que satisfaga las necesidades del mercado y facilite una futura implementación. Para esta etapa se hace uso de las siguientes herramientas:

- Bibliografías: esta herramienta facilita la adquisición de conocimiento con respecto a la tecnología 5G. Se dice que las bibliografías consisten en la descripción y el conocimiento de los libros, incluyendo un catálogo de los escritos correspondientes a una materia determinada, para lo que se hizo una selección de temas relacionados y de libros para satisfacer el conocimiento necesario y poder llevar a cabo la investigación. Esta bibliografía esta detallada en la sección correspondiente al final del documento.
- Experiencia: la experiencia es el conocimiento adquirido a partir de haber realizado actividades relacionadas, y en lo que respecta al entorno de las telecomunicaciones, se cuenta con más de 8 años experiencia en el área, en lo que respecta a redes de telecomunicaciones.

Etapa 2 - Análisis de la situación actual en el país: en esta etapa se hace un estudio de la situación en la que se encuentra el país para la implementación de una red 5G, cuáles son las necesidades, tanto técnicas como administrativas, que tan preparado está el país, cuáles son los aportes externos requeridos y las dificultades identificadas para llevar a cabo el proyecto. Durante esta etapa se aplican la siguiente técnica:

- Encuesta: esta técnica se aplica en esta fase con el objetivo de obtener la información proveniente de las diferentes empresas de telecomunicaciones y empresas que ofrecen tanto productos como servicios a las empresas de telecomunicaciones.

Etapa 3 - Identificación de requerimientos: a partir de la información obtenida, se analiza para hacer un levantamiento de las necesidades y los trabajos requeridos para la implementación de la nueva tecnología en el país. Durante esta etapa se hace el análisis y la identificación de las necesidades de todas las partes involucradas, para colaborar en el despliegue y hacer del mismo

un proceso más expedito y efectivo. Para esta fase se repite el uso de la herramienta utilizada en la fase anterior, como se detalla a continuación:

- Encuesta: dicha técnica tiene el mismo objetivo y busca reforzar la información recopilada en la etapa 2, durante la identificación de las necesidades se hace uso de la información proporcionada por las fuentes primarias para enlazar la información de cada ente específico, con los agentes externos, como puede ser gobierno o proveedores, y sus respectivas necesidades.

Etapa 4 - Desarrollo de modelo: en esta etapa se tiene por objetivo lograr elaborar un modelo de implementación de la tecnología 5G en el país, tomando en consideración los datos y el análisis realizado a partir de la información, además de las herramientas y técnicas mencionadas previamente.

3.6 MATRIZ DE COHERENCIA

El objetivo de la matriz de coherencia es facilitar a los interesados de la investigación el entendimiento del contenido y del proceso metodológico desarrollado, relacionando los diferentes objetivos con las técnicas, herramientas, instrumentos y temáticas incluidas en el documento.

A continuación, se presenta la tabla con la matriz de coherencia que detalla el contenido del proyecto de investigación.

Objetivo	Entregable	Etapas de la metodología que posibilita la realización del entregable	Técnicas/métodos de recolección de información	Instrumentos	Temas relacionados en el marco teórico
Determinar las ventajas competitivas que justifiquen la inversión requerida por los TELCOS para la implementación de la tecnología 5G.	Diagnóstico de la situación actual del mercado	Etapas 1 y 2	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Internet de las Cosas – IoT - Big Data - Realidad virtual - Robótica - Smart Cities - Industria 4.0
Establecer un listado de prioridades con las actividades a ejecutar requeridas para habilitar la nueva tecnología.	Diagnóstico de la situación socioeconómica	Etapas 3	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologías Inalámbricas - IaaS - SaaS - PaaS - NaaS
Reacondicionar el espectro de radiofrecuencias del país.	Diagnóstico de la situación del gobierno y ambiente	Etapas 2 y 3	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Espectro Electromagnético - Espectro Radioeléctrico - Bandas de Frecuencia - NarrowBand IoT
Capacitar el personal requerido en las diferentes áreas, cubriendo todas las fases del proyecto para robustecer la implementación y aseguramiento de la inversión.	Diagnóstico de la situación del recurso humano en las empresas	Etapas 2 y 3	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Telefonía Móvil - Cloud computing - FOG Computing - Edge computing
Optimizar la infraestructura actual para facilitar el medio donde se desplegará la red de telecomunicaciones.	Diagnóstico de la infraestructura de las empresas	Etapas 1 y 2	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Latencia - 5G Network Slicing
Crear un plan que incentive a la sociedad y la involucre en el desarrollo del proyecto, para fomentar el aprovechamiento de la tecnología y minimizar el riesgo de la inversión.	Modelo de implementación para la tecnología 5G en CR	Etapas 4	Entrevistas	Cuestionarios	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología 5G - Software Define Network (SDN)

Tabla 5. Esquema de matriz de coherencia. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El panorama actual que vive Costa Rica, ante el esperado desarrollo de una red de telecomunicaciones de tecnología 5G, se enfrenta a una serie de retos que deben ser superados para satisfacer las necesidades y facilitar los medios necesarios por la tecnología, y poder adecuar el entorno donde se desplegarán las primeras redes.

A partir de la recolección de información de los diferentes actores, como lo son las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones en Costa Rica y las desarrolladoras de la tecnología, que, para la región Centroamericana, los principales representantes son las empresas Nokia, Telrad, Ericsson y Huawei, todos competidores en una carrera por la oferta de servicios tecnológicos en el mercado nacional; se pretende exponer una imagen real del estado actual de la situación país.

La importancia de este capítulo es que nos presenta el panorama a partir del que nace la idea de desarrollar la investigación, donde se identifica, describe y analiza la situación, y a partir de este, determinar el rumbo a tomar y definir donde enfocar los esfuerzos. Se dice que este análisis sirve para identificar y orientar los temas críticos que enfrenta el país, buscando desarrollar afirmaciones, evaluar factores, tanto internos como externos, que impactarán el avance del proyecto.

Los factores internos pueden incluir recursos financieros, decisiones de mercadeo, capacitaciones de personal, limitaciones de infraestructura, así como el posicionamiento que tiene la marca en el mercado. Los factores externos incluyen la segmentación del mercado, las oportunidades que este ofrezca, la tecnología disponible, la competencia, amenazas presentes, y lo más determinante a la hora de desarrollar un proyecto de esta índole, el papel que juega el

gobierno como facilitador de medios y orquestador para brindar igualdad de oportunidades a todos los participantes.

Existen también otro tipo de factores externos que impactan no solo la economía, sino la salud, política y todos los aspectos que nos rodean, como el que enfrenta la sociedad a causa del COVID-19, el nuevo coronavirus, que ha forzado a las empresas a tomar medidas inéditas para sobrellevar una crisis sin precedente, donde la conectividad se vuelve primordial para garantizar el progreso de una nación. Aquellos países que cuenten con redes de telecomunicaciones robustas, diversidad de salidas internacionales, diversos puntos de intercambio de tráfico (IXPs), redes metropolitanas con un alto porcentaje de fibra óptica, redes móviles más potentes y con mejor cobertura, serán capaces de soportar el crecimiento en el uso de los datos proveniente del trabajo remoto exigido por el distanciamiento social. Este crecimiento en el uso de los datos también se refleja en el uso de la voz, que demanda en la población el aprovechamiento de todos los medios disponibles para mantenerse comunicados.

Con el objetivo de evitar la omisión de criterios sustanciales y una correcta agrupación de factores, se maneja la misma categorización descrita en la identificación de los problemas, definiendo las siguientes 6 categorías:

- Infraestructura.
- Recurso Humano.
- Financiero.
- Socioeconómico.
- Tecnológico.
- Legal / Regulatorio.

Diagnóstico Técnico (Infraestructura)

Existen especificaciones de la tecnología que requieren ser acondicionadas para lograr cumplir con las especificaciones técnicas y la demanda, como por ejemplo, los bajos tiempos de latencia y la alta velocidad; por esto, la infraestructura de red migrará su actual diseño, la cual se encuentra definido por macro-celdas, conocidas también como torres de telecomunicación, grandes estructuras que todos conocemos instaladas a lo largo del territorio nacional; pasando a un nuevo diseño de microceldas, las cuales pueden simular la estructura de una red IP Wireless, requiriendo de esta forma antenas más próximas a los usuarios, con capacidades de cobertura inferiores a las proporcionadas por una torre de comunicaciones. Este incremento en el número de puntos de acceso, requiere además un medio de transporte que interconecte las antenas, donde la cantidad de datos y velocidades requeridas exhorta el uso de la fibra óptica como opción, dejando de lado la opción de microondas como medio de transporte.

En el país la infraestructura de las empresas no se encuentra acondicionada para soportar el exponencial crecimiento en el uso de datos requerido por la tecnología 5G, demandando realizar trabajos de mejora en todas las áreas de su red, coincidiendo todos los proveedores, en el proceso que se debe llevar a cabo, iniciando por sus equipos centrales, para posteriormente mejorar su infraestructura de transporte y medios. Es decir, las operadoras requieren trabajar inicialmente en la actualización de los equipos Core, servidores, licenciamiento, conexiones de mayor capacidad, entre otras; para posteriormente actualizar y/o remplazar los equipos de transporte, por equipos de mayor capacidad de tráfico de datos y mejores tiempos de respuesta; posteriormente se procede a mejorar el hardware de la capa de distribución y acceso, pasando de conexiones inalámbricas y de fibra óptica de 1Gbps, a enlaces de fibra óptica de 10Gbps o superiores.

Diagnóstico de Recursos Laborales (Recurso Humano)

El recurso humano es parte fundamental en el proceso, mientras mayor sea el conocimiento del recurso, mejor el resultado esperado en el proyecto, tanto a nivel técnico como administrativo; sin embargo, es un factor que no se acostumbra a enfocar en los proyectos, y para la evolución a una red 5G en Costa Rica parece no ser la excepción.

Y es que el mercado de las telecomunicaciones sigue una tendencia en el mercado nacional, las TELCOS acostumbran a delegar la mayor parte de sus trabajos, tanto de desarrollo como de mantenimiento, a los proveedores de servicio, quienes cuentan con un mayor conocimiento, tanto de los equipos como de la tecnología *per se*. Esta situación se encuentra muy condicionada por algunos factores contractuales a la hora de realizar las negociaciones, y que definen limitantes, por ejemplo, de garantía. Durante estas negociaciones se suele definir todo este tipo de detalles, usualmente definidos como contratos de “llave en mano”, lo que resta importancia para la empresa de telecomunicaciones en realizar una inversión significativa para temas de capacitación y desarrollo personal.

Inclusive al analizar temas comerciales, son las mismas empresas proveedoras de la tecnología, las que presentan una propuesta con los diferentes casos de uso que pudieran maximizar la rentabilidad del proyecto y su inversión, de nuevo, basándose en gran parte en la experiencia adquirida en mercados internacionales, tropicalizando la propuesta a cada mercado, siendo siempre Costa Rica un escenario punta de lanza en lo que respecta a desarrollos tecnológicos en la región; esto debido a que el uso de los datos y venta de dispositivos tecnológicos, supera proporcionalmente a los del resto del área Centroamericana.

Es por esto por lo que se concluye que actualmente no hay una prioridad definida por las empresas de telecomunicaciones en iniciar ningún tipo de capacitación en lo que respecta a

tecnología 5G, más allá de requerir líderes de proyecto que administren el conocimiento de los expertos y aporten en la toma de decisiones, según las diferentes propuestas que reciben de los proveedores de servicios como lo son Ericsson, Huawei, Telrad y Nokia, sin descartar futuros participantes que se pueden ir incluyendo a la lista.

Diagnóstico de Inversión (Financiero)

3GPP se encuentra trabajando en los nuevos releases, estos se enfocan en la utilización de la tecnología y en ofrecer una visión detallada de las áreas de trabajo en desarrollo, para así lograr que 5G sea una herramienta útil para abordar los nuevos segmentos del mercado que harán uso de esta ciencia. Esto es muy importante, debido a que el ritmo de crecimiento en los despliegues de 5G se reportan a mucha más velocidad de lo que lo hicieron las tecnologías anteriores, especialmente cuando se compara a su predecesora 4G, lo que conlleva una necesidad de recuperar la inversión y poder utilizar la nueva tecnología en toda su amplitud. Y es que, con 5G emergen con fuerza los servicios en el borde (edge) y, a su vez, una mayor proliferación de servicios en la nube. Estos elementos están evolucionando porque la demanda de servicios de telecomunicaciones también lo está haciendo. Para ser competitivos y monetizar, los operadores deberán contar con las plataformas adecuadas para que su red sea una eficiente fuente de nuevos servicios e ingresos.

A nivel nacional, en temas financieros, es poco el avance que se maneja, ya que no se cuenta con un alcance definitivo en lo que respecta a la tecnología, aunque si se trabaja con la mira puesta en una futura implementación. Existen dos temas a considerar en lo que respecta a finanzas, ambos pueden ser considerados confidenciales, sin embargo, tampoco es mucho lo que se sabe al respecto. Cada una de las empresas distribuidoras de servicios de telecomunicaciones

en Costa Rica, actualmente recibe propuestas de sus respectivos proveedores, donde ofertan su paquete como un producto completo, que incluye hardware, software y propuestas de casos de uso factibles en la sociedad costarricense, nuevamente basados en desarrollos regionales.

La manera como se adjudica este tipo de proyectos y la consolidación de los contratos consiste en la compra de productos y servicios, donde el resultado es una red de tamaño delimitado, estableciendo casos de uso como la forma de convencer al cliente de que su producto garantizará mejores dividendos, sin embargo, no se ha definido un modelo de desarrollo en Costa Rica, más allá de maquetas de prueba, con objetivos específicos que sirven como muestra del funcionamiento de la tecnología.

Aunque, como se mencionó, se trabaja con la mira puesta en la tecnología 5G, es decir las compras de equipo, software, servicios, actualizaciones y cualquier tipo de inversión, son realizadas con base en su compatibilidad con la tecnología 5G, las estimaciones de CAPEX para proyectos por desarrollar, deben ser funcionales a futuro, aunque no hay un avance en lo que respecta a compras o inversiones para la nueva red, si se estima que los trabajos que se realicen minimicen un gasto venidero.

Como se indicó previamente, son dos factores principales los que se deben tomar en cuenta a nivel de finanzas, uno el ya comentado de las inversiones en el equipamiento; y el segundo, la oferta del producto al usuario final, es decir, cuál es foco de atención donde los proveedores de servicios ponen su mira para el despliegue de la tecnología y que necesidades se buscan satisfacer, 5G promete ser la solución para lograr una conectividad masiva con tiempos de respuesta inferiores a 5ms. Estos desarrollos no serán desplegados a nivel nacional, sino a zonas específicas donde el cliente y las necesidades así lo demanden. 5G va muy relacionado al avance en temas como el IoT, sin embargo, la necesidad de tener una ciudad conectada en Costa

Rica aún no es una realidad, lo que nos hace descartar ese escenario como la puerta de entrada de la tecnología; escenarios de éxito, fuera de nuestras fronteras, han basado la necesidad de desplegar una red 5G para convertir una metrópoli en una “ciudad inteligente” en busca de sostenibilidad, donde los medios de transporte sean autónomos, que una masiva cantidad de dispositivos requieran estar conectados para reaccionar a eventos determinados, como por ejemplo, sensores que recolecten y transmitan datos en tiempo real, cuya información sea de aprovechamiento para la sociedad. Este tipo de tecnología puede ser utilizada tanto por los ciudadanos como por las autoridades, existiendo infinidad de aplicaciones, desde medir temperaturas, contaminación, recolección de basura, optimizar el tránsito vial, seguridad, aprovechamiento de recursos (luz, agua, etc.), entre otros; que finalmente mejorarán la calidad de vida de la población.

Sin embargo, Costa Rica no cuenta aún con un proyecto de esta magnitud, lo que condiciona un caso de uso a un escenario más limitado, pudiendo ser temas de salud, seguridad, entretenimiento u otros.

Diagnóstico Social (Socioeconómico)

Costa Rica se encuentra en una etapa inestable a nivel social, existen grandes retos a nivel socioeconómico que deben ser abordados para mejorar la situación nacional y la percepción a nivel internacional. Factores como el desempleo, el porcentaje de pobreza, la inseguridad, son temas promulgados en todos los medios. Debido a esta realidad, la prioridad que se le puede dar a asuntos de índole científica se ven condicionados a factores externos, más allá de poder enfocar esfuerzos en lograr una evolución tecnológica.

Y es que es primordial la intervención gubernamental para esclarecer el escenario requerido y poder iniciar una implementación 5G, se puede mencionar la necesidad imperativa de limpiar el espectro, recuperar bandas de frecuencias en uso para su posterior distribución, ya sea por medio de licitaciones, como se manejó inicialmente con la apertura de las telecomunicaciones, u optar por algún método alternativo para distribuir las entre los diferentes participantes. Esta tarea es conocida y está en proceso de ejecución por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones MICITT, sin embargo, el avance es poco.

Otra tarea pendiente del MICITT es lograr una estandarización en los procesos requeridos para la habilitación de nuevas antenas de telecomunicaciones en el país. Esta tarea tampoco cuenta con un respaldo total del gobierno, y no se le ha brindado la atención necesaria, al existir factores sociales que exigen mayor cuidado; esto deja en desventaja a algunos proveedores al momento de competir en el mercado; ya estas empresas han escalado las solicitudes pertinentes a los entes gubernamentales solicitando su intervención en lograr facilitar el proceso legal aplicado en los gobiernos locales.

Aún y con las complicaciones descritas de la situación socioeconómica del país, la demanda de servicios es alta, comparada con otros mercados de la región, lo que abre la puerta a la compañía privada a realizar inversiones dentro del mercado nacional.

Por otro lado, a nivel de usuarios, se ha presentado una consulta a los gobiernos de confirmar que el uso de nuevos espectros de radio, y por ende mayor exposición a radiaciones debido a la instalación de nuevas antenas, los desarrolladores de la tecnología se han visto en la necesidad de realizar estudios que garanticen la no afectación de la salud en los seres humanos, al punto llegar a organizar manifestaciones y protestas contra la implantación de la tecnología 5G por considerarse perjudiciales para la salud, debido a contaminación electromagnética. Por

ejemplo, en Suiza, el pasado 21 de setiembre del 2019, miles de personas se manifestaron para expresar su rechazo a la instalación de redes 5G en ese país, considerando un desarrollo descontrolado en perjuicio de medio ambiente y la salud. Debido a esto, proveedores como Ericsson han desarrollado estándares que garanticen que las señales de radio transmitidas por los radios 5G sean de magnitudes similares a las utilizadas en tecnologías previas como lo es 3G y LTE. Este tipo de pruebas y límites de exposición, son definidas de manera independiente por cada organización, es decir, otros competidores puede no contar con los mismos estudios, o no ser capaces de ofrecer las mismas pruebas de seguridad; sin embargo, ya la Organización Mundial de la Salud (OMS), organismo de las Naciones Unidas, encargado de gestionar políticas de prevención en temas de salud a nivel mundial, ha confirmado la no afectación de efectos adversos desde las frecuencias utilizadas tanto por 5G, como por otros tipos de redes de telecomunicaciones por medio de un comunicado en su página oficial <https://www.who.int/> el pasado 27 de febrero del 2020.

Sin embargo, el estado ha tomado medidas para favorecer el impacto social, como la interpuesta por “el artículo 33 de la Ley General de Telecomunicaciones, que estipula que en el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones debe contener una Agenda Digital *“como un elemento estratégico para la generación de oportunidades, el aumento de la competitividad nacional y el disfrute de los beneficios de la sociedad de la información y el conocimiento, que a su vez contenga una agenda de solidaridad digital que garantice estos beneficios a las poblaciones vulnerables y disminuya la brecha digital”* (MICITT, 2014, p.6). La visión de este plan es *“Transformar a Costa Rica en una sociedad con mejor calidad de vida a partir del acceso y uso creciente de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones”*, a partir del favorecimiento del empleo, la productividad, la innovación y las cadenas de valor de

recomposición (inmigración de empleo de otras regiones como resultado de la disponibilidad de mejores recursos). Muchas de estas medidas en proceso y planes de ejecución, sin embargo, aún hay muchos pendientes para su cumplimiento.

Diagnóstico Científico (Tecnológico)

Los estándares 5G siguen avanzando para ofrecer a los operadores las herramientas tecnológicas necesarias para ser competitivos en la era digital. Hoy en día, la organización 3GPP se encuentra trabajando en los releases 16 y 17 de la tecnología 5G, que a diferencia del release 15, estos dos últimos se centran más en los requisitos para una multitud de casos de uso y en las mejoras propuestas; su antecesor el release 15, que se centraba casi exclusivamente en desarrollar una nueva tecnología de radio desde cero. No obstante, 3GPP anuncia retrasos de los releases 16 y 17 de unos 3 meses debido a la pandemia mundial provocada por el COVID-19, debido a la imposibilidad de poder reunirse físicamente a sus grupos de trabajo, lo que implicará un retraso en inversiones y puesta en marcha de nuevos negocios habilitados por estos dos releases. Cada nuevo reléase a partir de ahora, se espera presente mejoras en lo que respecta a la funcionalidad de la tecnología, y lograr que cada vez se esté más cerca de la propuesta de contar con 1Gbps de descarga con tiempos de respuesta de hasta 1ms.

En lo que respecta a Costa Rica, aún y cuando el país es considerado una nación tercermundista, en temas de desarrollo tecnológico y uso de la tecnología, nos posicionamos como punta de lanza a nivel de la región. Costa Rica encabeza la lista en los países de Centroamérica en uso de datos e Internet, además de ser el país donde sus clientes, a nivel porcentual referenciando cantidad de habitantes, cuenta con mayor cantidad de líneas móviles por persona. Factores como estos, posicionan al país como referente cuando se habla de desarrollar proyectos.

Escenarios innovadores como el Internet de las Cosas IoT o la Inteligencia Artificial, aún no son una realidad en nuestra sociedad, lo que pone en duda la necesidad de un despliegue inmediato de la tecnología en el país, donde tampoco se cuenta con un modelo de desarrollo establecido, ya que cada una de las empresas trabaja a su ritmo y conveniencia.

Otro factor que se toma en consideración por los TELCOS es la topografía y sus consecuencias a la hora de desplegar una red; las complicaciones inherentes al uso de frecuencias de radio altas, de poco alcance y poca penetración, demanda la instalación de nuevas antenas; todos estos aspectos críticos de la tecnología están en el plano de retos a superar por los proveedores de servicios móviles.

Finalmente, en Costa Rica existe un plan para instalar el primer hub de tecnología de negocios en Centroamérica, el cual consiste en una concentración de empresas tecnológicas, impulsado por el sector privado, pero que además requiere el aporte participativo del sector público, entre sus principales propuestas está el desarrollo de un modelo de negocios en la tecnología 5G. Este proyecto país tiene el nombre de IoTRepublik y está compuesto por reconocidos expertos, inversionistas nacionales e internacionales y líderes de proyectos en variedad de industrias con el interés común de impulsar nuevos negocios y generar rentabilidad. Incluso, para su desarrollo, se cuenta con la posibilidad de obtener créditos por entidades bancarias que promueven el desarrollo tecnológico en la región, como el Banco Interamericano de Desarrollo BID; sin embargo, para obtenerlo se debe cumplir con requerimientos y tiempos, que son los factores críticos en el país.

Diagnóstico Administrativo u Operativo (Legal / Regulatorio)

Con el objetivo de impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones, en el año 2014 se elaboró un plan denominado *Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones 2015-2021 “Un País Conectado”* donde se estipularon, entre otras, las siguientes definiciones de política pública:

- Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF). A tono con las tendencias y regulaciones internacionales, así como para avanzar en la regulación de manera óptima, racional, económica y eficiente del espectro radioeléctrico, se avanzará hacia una reforma integral al Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, a ser emitida durante el año 2015.

- Política para la Instalación de Infraestructura de Telecomunicaciones. Condición indispensable para el ofrecimiento de más y mejores servicios de telecomunicaciones a la población, es el despliegue de infraestructura moderna, escalable y de mayor capacidad. La experiencia acumulada registra una serie de dificultades en este proceso. Ante esto, se ha previsto trabajar en el diseño y ejecución de una Política Nacional en ese campo. Entre otros aspectos, se consideran los siguientes componentes:

- Sistema Nacional de Registro de Infraestructura y Mapa Nacional de Infraestructura de Telecomunicaciones.
- Actualización normativa.
- Acceso e Interconexión de redes telecomunicaciones
- Regulación sobre Uso Compartido de Infraestructura y Acceso a las redes en
- Edificios Verticales, condominios, zonas francas, etc. (MICITT, 2014, p.25)

El escenario actual al que se enfrentan las diferentes empresas de telecomunicaciones difiere según cada caso, sin embargo, existe un requerimiento primordial que debe ser resuelto

previo al desarrollo de la tecnología y es que el espectro debe ser reasignado, con el objetivo de poner a disposición las frecuencias requeridas, las cuales, según estándares deben desarrollarse preferiblemente en bandas superiores a los 26 GHz, que actualmente se encuentran en uso por otras aplicaciones, como por ejemplo, la televisión analógica (la cual ha sido liberada parcialmente), radio enlaces de uso privado, radio, entre otras.

Actualmente el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones MICITT, rector en materia de telecomunicaciones y encargado del ordenamiento del espectro radioeléctrico, se encuentra en el proceso de ejecutar una reasignación y limpieza de frecuencias, cuyo principal objetivo es administrar de manera adecuada, controlar y agilizar los proyectos que requieren el uso del espectro, como es el caso de las redes de tecnología 5G. Este proyecto se ha denominado Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), decreto número 35257 y se define como “un instrumento que permite la regulación nacional de manera óptima, racional, económica y eficiente del espectro radioeléctrico nacional, para satisfacer oportuna y adecuadamente las necesidades de frecuencias que se requieren, tanto para el desarrollo de las actuales redes de telecomunicaciones, como para responder eficientemente a la demanda de segmentos de frecuencias para las redes que hagan uso del espectro radioeléctrico; para tal efecto se proveerán el uso de tecnologías que optimicen el uso del espectro” (MINAET, 2009).

Las figuras 13 y 14 presentan el espectro de radio disponible para el desarrollo de 5G en algunos países donde se cuentan con mayores avances de la tecnología alrededor del mundo; información presentada por parte de un proveedor de equipos de hardware a altos mandos gubernamentales como propuesta a desarrollar por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en liberación de frecuencias de radio pendiente de implementarse en Costa Rica.

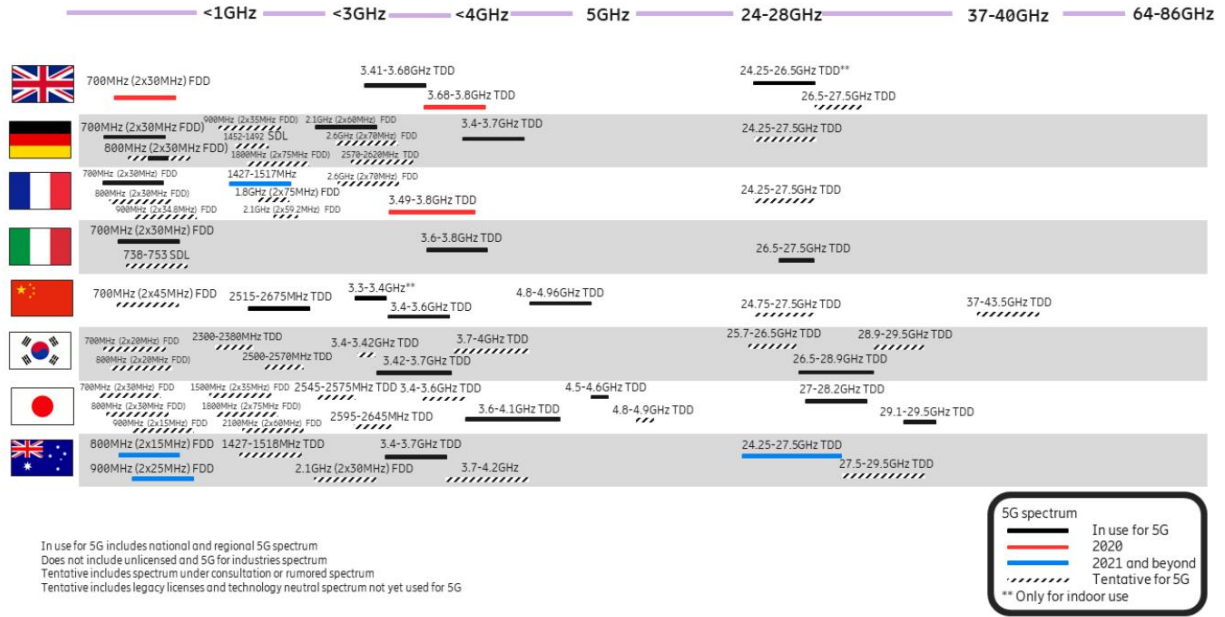


Figura 13. Espectro Disponible 5G en UK, Francia, Italia, China, Korea, Japón y Australia. Fuente: Ericsson LATAM.

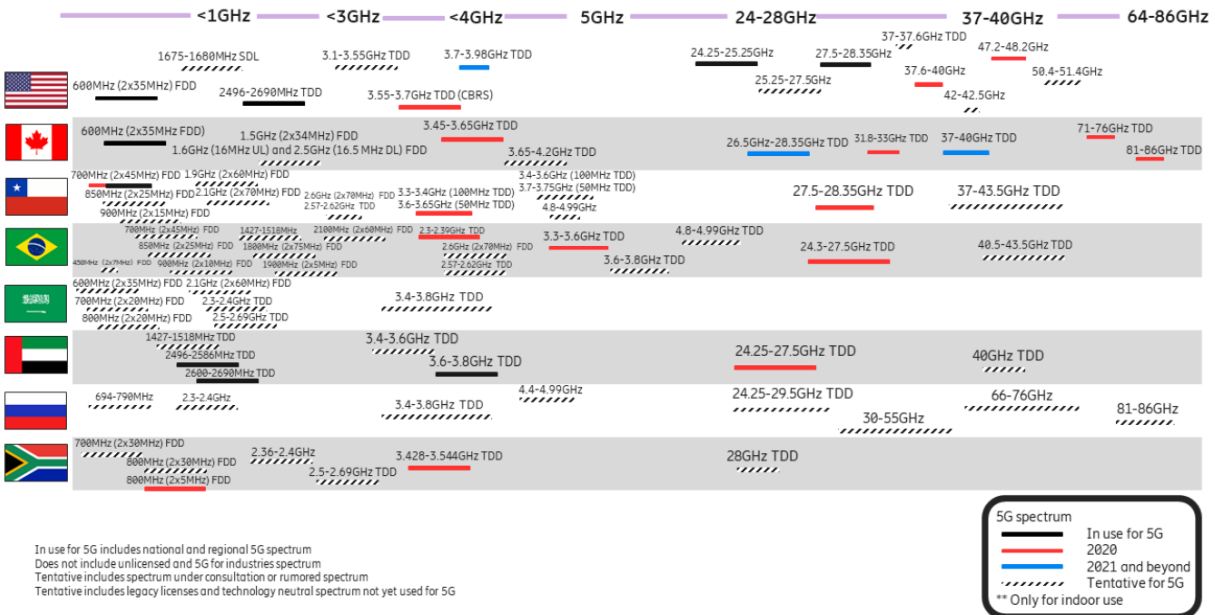


Figura 14. Espectro Disponible 5G en US, Canadá, Chile, Brazil, Arabia Saudita, UAE, Rusia y Sudáfrica. Fuente: Ericsson LATAM.

Otro factor común con el que deben enfrentarse las empresas de telecomunicaciones, es la legislación de los gobiernos locales, los cuales, de manera independiente, definen diversos requerimientos y limitaciones para la ejecución de tareas y despliegue de infraestructura dentro de su rango de cobertura administrativa. Y es que 5G trabaja en frecuencias de radio superiores, que permiten mayores anchos de banda, sin embargo, sacrifican capacidad de alcance, permitiendo una mancha de cobertura inferior por antena, requiriendo la instalación de nuevos puntos de acceso en cantidades considerables; se estima la suma de duplicar y hasta triplicar la cantidad de antenas para lograr una cobertura que garantice un ambiente ideal donde se pueda asegurar las condiciones ofrecidas por las redes 5G. El objetivo de esta estandarización es a nivel de gobiernos locales, cada municipalidad cuenta con un procedimiento diferente, debido a la autonomía otorgada por el estado para la administración de sus recursos. Este factor dificulta considerablemente el despliegue de una red de comunicaciones, debiendo considerar un alto número de escenarios y requerimientos, según sea la zona donde se requiera la instalación de nuevo hardware y su correspondiente medio de transporte.

En el caso de Claro, ya tiene definido el uso de la banda de los 3100 Ghz a nivel regional, por lo que se debe esperar a la liberación de estas frecuencias por parte del gobierno; de igual forma, Movistar pretende pujar por el uso de la misma banda, sin embargo, el ICE aún no define el espectro a utilizar. A partir de esta disputa, se hace imperativo la intervención del MICITT. El ICE ha sido celoso a la hora de compartir información con respecto al proyecto, al punto que medios de comunicación nacional han confirmado que el proveedor no ha hecho público de manera oficial detalles sobre el proyecto 5G con el MICITT y otras entidades gubernamentales, delegando este desarrollo a RACSA. Se sabe que el ICE cuenta con un grupo de frecuencias para servicios avanzados clasificados como International Mobile Telecommunications (IMT), donde se

incluirían las redes 5G, habiendo sido adecuados estos títulos en 1998 al ICE, y en el 2009 a RACSA para este tipo de servicios, y estarían en concordancia con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias. Estas frecuencias se asignaron como parte del proceso de apertura del sector de comunicaciones. A continuación, el detalle de estas frecuencias cuya fuente es el MICITT:

Adecuaciones realizadas al ICE para servicios IMT (1997-1998)

- 2.500-2.690 MHz
- 3.400-3.425 MHz
- 1.710-1.730 MHz
- 1.805-1.825 MHz
- 2.110-2.130 MHz
- 824-843,7 MHz
- 869-888,7 MHz
- 1.920-1.940 MHz
- 1.785-1.805 MHz (ICE realizó devolución)
- 1.880-1.920 MHz
- 1.980-1.990 MHz (ICE realizó devolución)
- 2.100-2.110 MHz (ICE realizó devolución)

Adecuaciones realizadas a RACSA para servicios IMT (2009)

- 3.425-3.625 MHz

En lo que respecta a la regulación en materia de infraestructura, el MICITT en su Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones 2015-2021 “Un País Conectado” recopiló:

Estado	Cantidad	Plazo	Socios estratégicos
Corporaciones municipales contaban con un reglamento de infraestructura de telecomunicaciones vigente	69	2015	MICITT SUTEL Ministerio de Economía, Industria y Comercio IFAM
Municipalidades que presentan alguna dificultad en otorgar permisos de construcción para infraestructura de telecomunicaciones	12	2015	
Municipalidades no cuentan aún con Reglamento especializado aprobado	3	2015	

Tabla 6. Sistema Nacional de Registro de Infraestructura y Mapa Nacional de Infraestructura de Telecomunicaciones. Fuente: MICITT 2014

Diagnóstico de oportunidad en el mercado nacional

Adicional al análisis realizado con base en la categorización de los problemas identificados, se elaboró una encuesta (apéndice C), donde el universo son clientes empresariales potenciales que cuentan con enlaces de Internet corporativos y que podrían optar por aprovechar los beneficios de la tecnología 5G.

El objetivo de la encuesta es la de confirmar la importancia de contar con enlaces de Internet robustos y que garanticen continuidad de la operación, priorizando los datos críticos de cada negocio e identificando los tiempos de respuesta bajo los cuales se labora.

Esta encuesta se debió delimitar por la situación que atraviesa el país al momento de ser llevada a cabo, donde una pandemia mundial causada por el virus COVID-19 ha restringido de manera drástica la posibilidad de contar con los canales de comunicación óptimos y poder ser ejecutada de una manera más personalizada y con personal presente en las instalaciones.

A continuación el resultado obtenido de la encuesta, donde se pudieron recolectar los datos de 13 compañías de diversos entornos, información recopilada por parte de las personas

encargadas de la infraestructura de red, todas empresas dependientes de sus enlaces de datos para poder llevar a cabo sus operaciones, que debido a la situación descrita que afecta la sociedad, han puesto en marcha programas que habilitan a sus usuarios a realizar teletrabajo como medida de contención; factor que resalta la necesidad de contar con enlaces de datos de capacidad suficiente para permitir esta modalidad de trabajo.

1) ¿Cuenta la empresa con enlace de Internet primario?

	Cant.	%
Si	13	100
No	0	0
	13	100

Tabla 7. Pregunta 1 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

1) ¿Cuenta la empresa con enlace de Internet primario?

13 responses

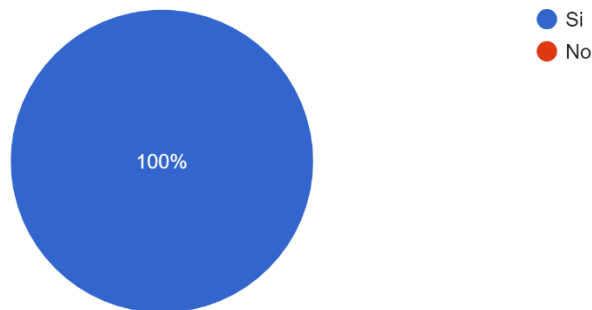


Gráfico 1. Pregunta 1 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

El primer gráfico confirma la necesidad presente de las empresas por contar con enlaces de Internet para lograr ejecutar sus correspondientes operaciones, donde, como se mencionó, la muestra fue tomada de empresas tanto de índole pública como privada, que se desarrollan en diferentes mercados, desde comercial, servicios, manufactura, entre otros.

2) ¿Cuál es la velocidad contratada para este enlace?

	Cant.	%
Menos de 50Mbps	6	46.2
50Mbps a 99Mbps	1	7.7
100Mbps a 299Mbps	3	23.1
300Mbps a 499Mbps	1	7.7
500Mbps o más	2	15.4
	13	100

Tabla 8. Pregunta 2 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

2) ¿Cuál es la velocidad contratada para este enlace?

13 responses

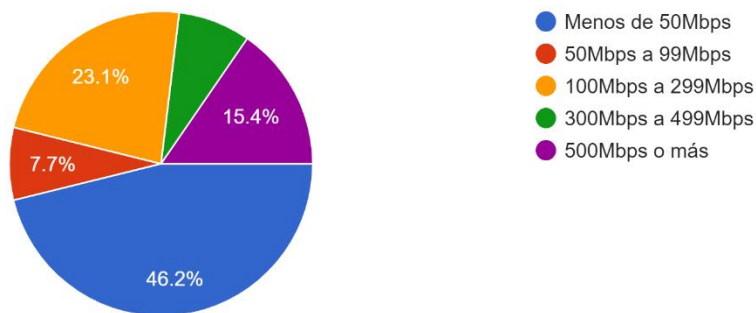


Gráfico 2. Pregunta 2 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 2 presenta un panorama donde las empresas requieren enlaces de capacidad limitada, siendo casi un 50% de los entrevistados enlaces inferiores a los 50Mbps; esto debido al elevado costo de contar con enlaces de datos dedicados. La tecnología 5G pretende habilitar un nuevo mercado de rápido desarrollo y costos de implementación inferiores y que reflejarán este ahorro en los costos impugnados a los clientes.

3) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace?

	Cant.	%
Red digital ADSL	0	0.0
Conexión por fibra óptica	10	76.9
Conexión por cable de cobre	2	15.4
Conexión vía satélite	0	0.0
Redes inalámbricas (WiFi de largo alcance, LMDS, PLC, Wimax, etc.)	1	7.7
Telefonía móvil (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE)	0	0.0
	13	100

Tabla 9. Pregunta 3 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

3) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace?

13 responses

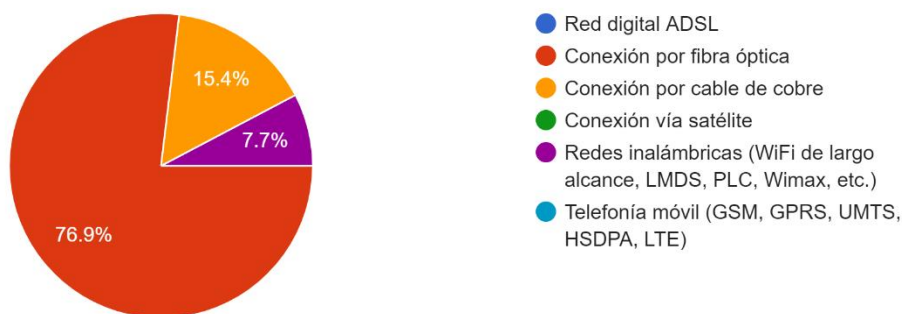


Gráfico 3. Pregunta 3 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Las conexiones de fibra óptica han sido exponencialmente preferidas por las empresas para implementar sus enlaces de datos, debido en parte a la velocidad ofrecida, sin embargo, estas implementaciones conllevan elevados costos de instalación e implementación, además de estar expuestos a averías por cortes en el cableado de planta externa. El gráfico 3 demuestra esta realidad, seguido de los enlaces de cobre, conexiones altamente preferidas por clientes residenciales. Las redes 5G vienen a ofrecer un nuevo producto, tanto para clientes corporativos como masivos, con rápidos tiempos de implementación y menores costos de instalación, este aspecto de desarrollará con mayor detalle en el apartado de las recomendaciones.

**4) ¿Cuenta la empresa con un enlace de Internet redundante?
(Si su respuesta es NO continúe en la pregunta 7)**

	Cant.	%
Si	7	53.8
No	6	46.2
	13	100

Tabla 10. Pregunta 4 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

4) ¿Cuenta la empresa con un enlace de Internet redundante? (Si su respuesta es NO continúe en la pregunta 7)

13 responses

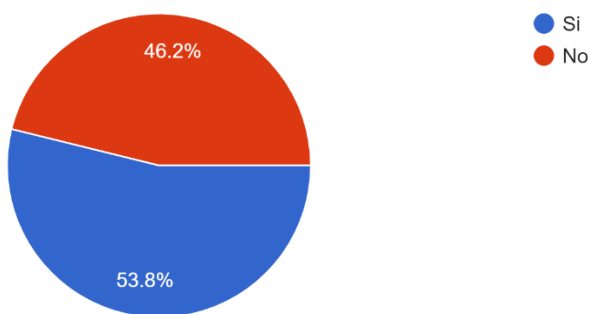


Gráfico 4. Pregunta 4 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Un 53.8% de los entrevistados cuentan con enlaces redundantes, siendo factores económicos los determinantes para la elección o no de contar con este tipo de respaldo ante fallas en los enlaces primarios. Las opciones de enlaces inalámbricos son una opción frecuente para ser utilizadas como enlaces redundantes, habilitando flexibilidad de implementación y configuración.

5) ¿Cuál es la velocidad contratada para el enlace redundante?

	Cant.	%
Menos de 50Mbps	3	37.5
50Mbps a 99Mbps	2	25
100Mbps a 299Mbps	0	0
300Mbps a 499Mbps	1	12.5
500Mbps o más	2	25
	8	100

Tabla 11. Pregunta 5 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

5) ¿Cuál es la velocidad contratada para el enlace redundante?

8 responses

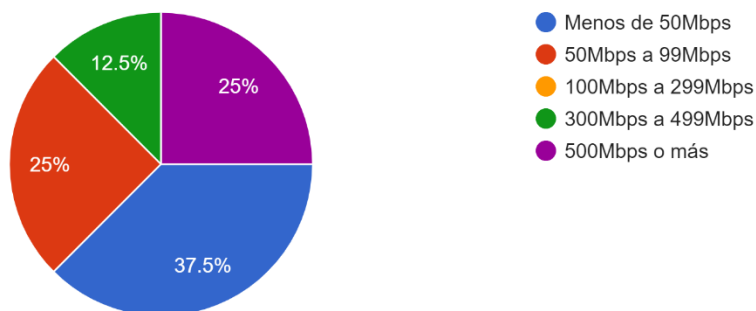


Gráfico 5. Pregunta 5 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Los enlaces redundantes buscan satisfacer la continuidad de negocio ante fallas, la pregunta 5 de la encuesta demuestra la variabilidad en el ancho de banda de los enlaces contratados, donde cada responsable contrata la velocidad mínima requerida para asegurar la continuidad de la operación.

6) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace redundante?

	Cant.	%
Red digital ADSL	0	0.0
Conexión por fibra óptica	5	71.4
Conexión por cable de cobre	1	14.3
Conexión vía satélite	0	0.0
Redes inalámbricas (WiFi de largo alcance, LMDS, PLC, Wimax, etc.)	1	14.3
Telefonía móvil (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE)	0	0.0
	7	100

Tabla 12. Pregunta 6 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

6) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace redundante?

7 responses

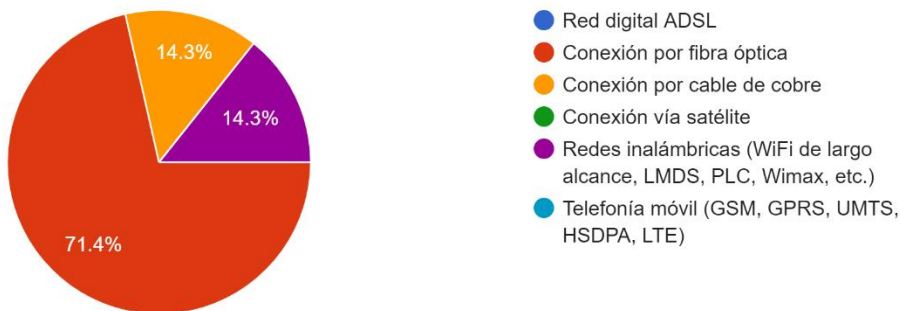


Gráfico 6. Pregunta 6 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

La elección de enlaces de fibra óptica como enlaces de respaldo, constituye un costo elevado para las empresas. El gráfico 6 muestra esta preferencia, impulsada por la idea de ser enlaces de mayor capacidad y robustez. Se abre una oportunidad de mercado la oferta de un producto en la tecnología 5G como enlaces redundantes.

7) ¿Cuál es el tiempo de latencia de su enlace al realizar un ping al servidor de google.com 8.8.8.8??

	Cant.	%
Menos de 10ms	2	15.4
10ms a 49ms	5	38.5
50ms a 99ms	4	30.8
100ms a 149ms	1	7.7
150ms o más	1	7.7
	13	100

Tabla 13. Pregunta 7 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

7) ¿Cuál es el tiempo de latencia de su enlace al realizar un ping al servidor de google.com 8.8.8.8??

13 responses

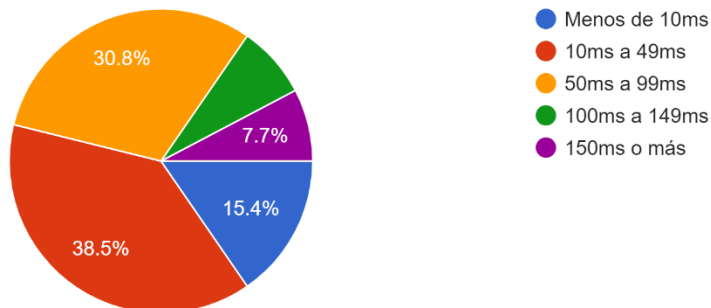


Gráfico 7. Pregunta 7 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos de latencia son críticos para algunos aplicativos, como, por ejemplo, la voz. El gráfico anterior muestra porcentualmente los tiempos de latencia bajo los que operan las 13 empresas entrevistadas, de los cuales, únicamente un 15.4% ofrecen una latencia inferior a los 10ms. Las redes 5G prometen alcanzar tiempos de latencia inferiores a los 5ms, pudiendo alcanzar 1ms en escenarios idóneos.

8) ¿Cuenta con aplicativos en la red que requieren bajos tiempos de latencia (voz, datos críticos, etc.)?

	Cant.	%
Si	11	84.6
No	2	15.4
	13	100

Tabla 14. Pregunta 8 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

8) ¿Cuenta con aplicativos en la red que requieren bajos tiempos de latencia (voz, datos críticos, etc.)?

13 responses

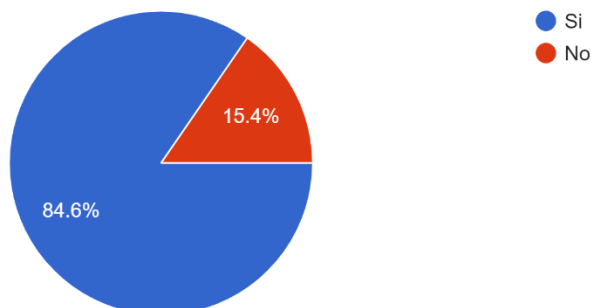


Gráfico 8. Pregunta 8 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Las redes 5G permiten una programabilidad y segmentación de la red que facilita la oferta de productos acorde a las necesidades del cliente. El gráfico 8 demuestra que un 84.6% de los clientes tienen tráfico que han clasificado como importante y requiere bajos tiempos de latencia; entre la información recolectada se menciona tráfico de voz y entornos virtualizados, aplicativos que requieren enlaces con tiempos de respuesta óptimos; criterio relevante en las redes de tecnología 5G. Para las demás aplicaciones se puede ofrecer un servicio con menores tiempos de respuesta, que eventualmente tendrán un costo menor.

9) ¿Tiene conocimiento respecto a la tecnología 5G y sus beneficios?

	Cant.	%
Si	7	53.8
No	6	46.2
	13	100

Tabla 15. Pregunta 9 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

9) ¿Tiene conocimiento respecto a la tecnología 5G y sus beneficios?

13 responses

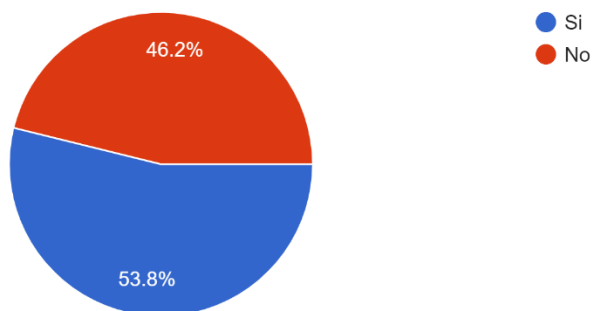


Gráfico 9. Pregunta 9 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

La pregunta 9 de la encuesta tiene como objetivo medir el conocimiento que se tiene con respecto a la tecnología 5G; esta información presenta el desconocimiento en el mercado, aún y cuando fue personal encargado de las redes informáticas las personas entrevistadas.

10) ¿Le interesaría implementar un enlace 5G empresarial conociendo las mejoras en el rendimiento y tiempo de respuesta ofrecidas por las redes 5G?

	Cant.	%
Si	8	61.5
No	5	38.5
	13	100

Tabla 16. Pregunta 10 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

10) ¿Le interesaría implementar un enlace 5G empresarial conociendo las mejoras en el rendimiento y tiempo de respuesta ofrecidas por las redes 5G?

13 responses

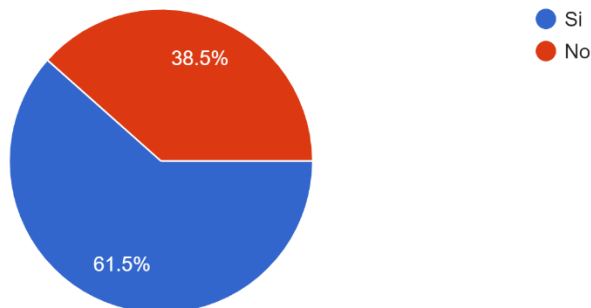


Gráfico 10. Pregunta 10 de encuesta aplicada a clientes empresariales. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se identifica que un 61.5% de los encuestados tienen interés en conocer la tecnología 5G, un porcentaje bajo considerando que los encuestados corresponden a personal en el área de informática, que supone debería mantener un interés por la innovación. Parte de los objetivos del modelo es incentivar el uso de la tecnología como una alternativa de conectividad, aprovechando las características ofrecidas por las redes 5G.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Los actores principales en el escenario de la tecnología 5G en Costa Rica son los propios operadores de telecomunicaciones, sin embargo, estos dependen de factores externos como lo son la tecnología y el gobierno. Un TELCO puede tener toda la disposición de evolucionar a redes de nuevas generaciones, sin embargo, los encargados de entregar los insumos tecnológicos, tanto el hardware como el software, está en manos de las empresas desarrolladoras de la tecnología; en Costa Rica se han destacado a lo largo del tiempo las empresas Huawei, Nokia, Ericsson y Telrad.

Estas empresas trabajan en conjunto con los proveedores de telecomunicaciones en el desarrollo de planes e inversiones que pueden ser llevados a cabo siempre y cuando se cuenten con los insumos y facilidades en el entorno. Aquí es donde resalta el papel del gobierno; quien funge como facilitador de medios, mediador y juez encargado de equilibrar la competencia.

Para efectos del proyecto, se participó en diferentes conferencias presenciales y virtuales, se recopiló información de diversas fuentes y se entrevistó a personal experto, tanto de empresas de telecomunicaciones como desarrolladoras de tecnología; percibiendo una mayor disposición de compartir información de parte de las empresas Claro y Movistar, quienes se encuentran en un escenario similar entre ellas, pendientes de la intervención del estado para facilitar el espectro requerido, hoy día perteneciente al ICE y RACSA. Debido a esto y al avance en el desarrollo de la tecnología 5G, en comparación con la inversión privada, es que el ICE maneja su desarrollo en 5G como un tema mucho más confidencial.

Por otro lado, la oferta del producto por parte de las empresas Huawei y Ericsson, se posicionan en una situación competitiva, intentando acaparar un entorno innovador, ofreciendo sus productos en el mercado costarricense a partir de la experiencia recopilada en implementaciones en la región.

Estos actores fueron abordados siguiendo las encuestas anexas en el documento de investigación, según el rol participativo del entrevistado; el apéndice A presenta las consultas elevadas a los TELCOS con el objetivo de validar su estado y necesidades; mientras que el apéndice B hace uso de la experiencia adquirida por los desarrolladores de la investigación Huawei y Ericsson. Estas entrevistas fueron grabadas cuando se tuvo el consentimiento del entrevistado, caso contrario, se procedió con la toma de notas y levantamiento de información,

complementando con el material que fue proporcionado directamente por los entrevistados, mucho del cual se entregó en carácter confidencial.

4.3 DETERMINACIÓN DE BRECHAS

El término brecha se refiere al espacio entre el estado actual y el estado objetivo, es decir, donde queremos estar. El análisis de brechas nos ayuda a comparar el estado actual de la situación en el país y hacia donde esperamos llegar; que, para efectos del proyecto, sería contar con la tecnología 5G a disposición del usuario final. Para llevar a cabo el análisis nos podemos apoyar en 4 pasos generales: ¿Dónde estamos?, ¿Dónde debemos llegar?, ¿Qué tan lejos estamos de llegar? y finalmente ¿Qué debemos hacer para llegar donde deseamos?; este último punto se detalla en el siguiente capítulo.

El país actualmente se encuentra ante dos diferentes escenarios en lo que respecta a la tecnología, debido a que el espectro pertenece a un operador, quien de manera evidente se encuentra en ventaja sobre su competencia. Y es que no se ha establecido fechas para contar con los insumos en el espectro radioeléctrico disponible y facilitar a los operadores de telecomunicaciones el inicio de sus pruebas; siendo el MICITT, ente rector del sector de las telecomunicaciones, el encargado de la asignación de estos recursos. Las empresas Claro y Movistar, de capital extranjero, se encuentran a la espera de la resolución por parte del gobierno para la distribución del espectro, perteneciente al ICE y RACSA.

Esta es la situación en la que se encuentra el país para poder iniciar con las pruebas correspondientes, por un lado, el ICE ya ha desarrollado pruebas en puntos específicos de la tecnología y cuenta con una maqueta 5G; por otro lado, las empresas Movistar y Claro siguen a

la espera de la intervención del estado para poder contactar a sus respectivos proveedores e iniciar con los procesos. Cabe mencionar que las pruebas realizadas por el ICE corresponden a escenarios simulados, donde se instalan nodos y antenas 5G, sin embargo, las redes no son desarrolladas en un entorno 100% nativo de la tecnología.

La meta es lograr contar con un espectro radioeléctrico ordenado y atribuido de conformidad con lo recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y comunicación (TIC); y satisfacer de manera más oportuna y adecuada las necesidades de frecuencias requeridas para diferentes desarrollos, todo esto mediante el avance del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, al facilitar el medio a todos los participantes, bajo la consideración de que el espectro radioeléctrico es un bien demanial propiedad de la nación, cuya administración y control corresponden al Estado.

Sin embargo, la escena nacional nos pone en una realidad poco alentadora, al no vislumbrar un horizonte claro de los avances realizados en el país para lograr llegar al punto deseado. No se cuenta con una fecha estimada para realizar la reasignación de estas frecuencias a los diferentes operadores y que estos inicien sus correspondientes pruebas, siendo 2020 el año meta para realizarlo, un panorama utópico con respecto a la realidad.

4.4 RETOS:

Existe una serie de obstáculos que deben ser superados para lograr una implementación satisfactoria de la tecnología en el país, de los cuales no todos son técnicos y legales, sino también sociales, debiendo sobreponerse a resistencias a nivel de la sociedad, despertar nuevas

necesidades en la población, para posteriormente trabajar en satisfacerlas, desarrollar casos de uso que justifiquen inversiones, entre otros.

A continuación, se presentan los retos identificados que deben ser abordados bajo el escenario actual del país:

- Recursos de espectro radioeléctrico:
 - Bandas Bajas: La UIT y la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones analizan segmentos de frecuencias inferiores a los 6 GHz (700 MHz y 2.6 GHz), sin embargo los resultados no son tan satisfactorios como los obtenidos en altas frecuencias.
 - Bandas Altas: La UIT y la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones analizan múltiples segmentos superiores a los 6 GHz (24 GHz, 26 GHz, 28 GHz, 38 GHz y 42 GHz).
 - Radio de cobertura: para las bandas altas, las preferidas para el despliegue, los radios de cobertura de las redes son muy limitados, lo que implica mayor densidad de celdas y requerimientos de infraestructura.
- Soportar el imparable crecimiento del tráfico previsto.
- Mejorar la experiencia del cliente.
- Disminuir la latencia, rebajar la latencia de 40/50 ms en 4G a menos de 5ms, idealmente alcanzando 1ms.
- Reducir los costos de transmisión de la gestión de bits.
- Despliegue capilar de antenas, lo que aumentará exponencialmente la cantidad y topología (smartcells), incurriendo en un alto costo (fibra óptica, alimentación eléctrica, seguridad, ubicación de instalaciones, mantenimiento y reparación). Esta operación de las

infraestructuras de red propondría acuerdos de compartición entre los operadores, sin embargo, esto ha sido descartado por todos los involucrados.

- Falta de modelo claro de negocio, diseñar casos de uso que mejoren el impacto financiero del proyecto, debido a que incluso su predecesor, el 4G, no ha generado el impacto esperado. Se están probando en casos como ciudades inteligentes, por ejemplo, otra opción es asociarse con clientes y cobrar por parte de los ingresos que se perciban (vender plataformas como aplicación de parking inteligente es una opción).
- Aumento en las estimaciones de CAPEX (gastos de capital en inversiones realizadas) y OPEX (gasto operativo).
- Migración de enlaces de microonda a enlaces de fibra óptica que proporcionen mayores capacidades, incurriendo en mayores inversiones y solicitud de permisos legales.
- Por competencia, si un rival inicia el despliegue y puede amenazar con arrebatar la base de datos de clientes, los demás operadores se verán obligados a acelerar un desarrollo, aunque se eleve el CAPEX y reduzca el margen ebitda sobre ventas. El ebitda es un indicador financiero que representa las ganancias antes de los intereses, impuestos, depreciaciones y amortización.
- Desarrollar convenios con terceros para optimizar la inversión, ya que el beneficio de la tecnología será también percibido por empresas externas. Y es que uno de los grandes beneficiados del despliegue de la red será, previsiblemente, las compañías llamadas OTT (Over The Top), como Netflix, Google, Amazon, Microsoft o Alibaba, mientras que las operadoras deberán realizar un esfuerzo tecnológico y creativo para proponer nuevos escenarios comerciales capaces de mejorar su negocio, más allá de la mera operación de telecomunicaciones.

4.5 TERMINALES 5G DISPONIBLES EN EL MERCADO

El desarrollo de una nueva tecnología genera una nueva oportunidad para las empresas desarrolladoras en nuevos mercados, no solo en el desarrollo de terminales móviles. Para esto las empresas pioneras se encuentran en constante estudio del mercado, verificando sus fortalezas y debilidades y más aún pendientes de las oportunidades y amenazas presentes.

Un aspecto importante para mencionar, es que por primera vez se anuncian terminales móviles al mismo tiempo que se desarrolla la tecnología de la red, evento que no sucedía con sus predecesores, donde se debía esperar algunos años como se muestra en la siguiente imagen.

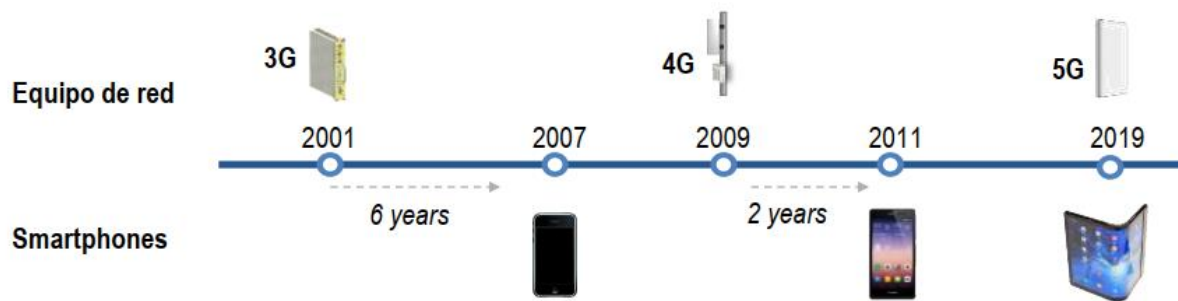


Figura 15. Línea cronológica de desarrollo de terminales. Fuente: Huawei Technologies.

Algunas empresas han optado por el desarrollo de terminales, otras han preferido involucrarse en el desarrollo de la red, debiendo mantenerse actualizadas en las opciones del mercado, quienes finalmente definirán el uso que se le dará a la misma. A mayor cantidad de aplicaciones disponibles, mayor la utilización que se le dará y mejor la oferta. Estos estudios de mercado han presentado algunas de las opciones para este 2020 en el uso de la tecnología 5G:

- Tabletas plegables 5G.
- Laptops 5G.
- Teléfonos celulares 5G.

- Nuevos microprocesadores 5G para IoT.
- Automóviles con conectividad 5G.
- Entre otras.

Para enero del 2020 se realizó una recopilación de terminales 5G disponibles en el mercado internacional, donde destacan marcas como Samsung, Huawei, Xiaomi, Vivo, LG, ZTE con presencia en territorio nacional.



Figura 16. Terminales móviles 5G disponibles en enero 2020. Fuente: Ericsson LATAM.

La figura anterior presenta estas 37 terminales, clasificadas por su respectivo procesador. Y es el mercado de los microprocesadores que tiene una ventana de crecimiento amplio, donde ya existen alianzas confirmadas entre estos y los creadores de terminales móviles como se indica a continuación:

- Samsung: Samsung, Vivo, otros.
- Hi-Silicon: Huawei y en negociación con otros.

- Qualcomm: Samsung, LG, Motorola, Oppo, OnePlus, Vivo, Xiaomi, ZTE.
- MediaTek: Oppo.
- Unisoc: por anunciar en enrutadores y potencialmente teléfonos inteligentes.

4.6 AVANCES

Aún y cuando es poco el avance visualizado en la facilitación de medios para la implementación de 5G, se puede mencionar el apagón de la televisión analógica como uno de estos. El paso a la televisión digital, que permitirá el apagón de la televisión analógica, no solo traerá consigo las ventajas de ofrecer mejor calidad de audio y video (se espera pronto también el uso de servicios interactivos); sino que también libera un bloque de frecuencias que pueden utilizarse para servicios avanzados de telefonía móvil de cuarta y quinta generación. Posteriormente se pretende proceder con la apertura de concursos para la distribución de porciones de estas bandas, debiendo iniciar procesos jurídicos que se espera puedan llevarse a cabo en el segundo semestre del año 2020.

El proceso para pasar de la televisión analógica a la digital se inició el 5 de noviembre del 2009, donde se estimó un plazo de 5 a 10 años para la transición, para esa fecha ya otros países como Estados Unidos, China, Japón, Canadá, entre otros, habían elegido los modelos a seguir, e incluso contaban con fechas establecidas para realizar este apagón analógico. Para el caso de Costa Rica, fue en el 2010 que se definió el uso de la norma japonesa brasileña ISDB-Tb.

La televisión digital hace uso del espectro de servicios de Very High Frequency (VHF) y Ultra High Frequency (UHF), lo que corresponde a la liberación de lo que se conoce como el dividendo digital; y pone a disposición la banda de 700MHz (de 698 MHz a 806 MHz), asignada

en el PNAF al desarrollo de sistemas International Mobile Telecommunications (IMT) y se espera sea utilizada para redes 5G en Costa Rica, aunque como se ha mencionado, esta banda de frecuencias no es la preferida ni es considerada por ningún operador al día de hoy.

Aún está pendiente la evolución a la radio digital, que liberará frecuencias que podrán ser utilizadas para el desarrollo de otras tecnologías, entre las que se incluyen redes móviles 5G. Para este cambio en la radio, según estudios realizados por la Comisión Mixta en el año 2013, aún no se cumplían con los presupuestos industriales, comerciales y políticos para proceder a la digitalización de las transmisiones de la radiodifusión sonora.

4.7 ANÁLISIS DEL COSTO DE DESARROLLO

El desarrollo del modelo ha representado una inversión de tiempo que puede ser capitalizado en un costo de inversión económica, considerando los periodos de trabajo, entrevistas, encuestas y reuniones llevadas a cabo para lograr consolidar la información en un modelo de desarrollo de la tecnología 5G en Costa Rica.

A continuación, se presenta una tabla de costos aunados al desarrollo del proyecto, donde se han considerado los siguientes factores para realizar los cálculos correspondientes:

- Se consideran los siguientes participantes dentro del desarrollo del trabajo: desarrollador del modelo, tutor, profesionales entrevistados y encuestados.
- En las actividades se consideran todas las fases de las actividades para el desarrollo del modelo, reuniones, entrevistas, encuestas y tutorías.
- Para el cálculo de los salarios se hizo uso de la tabla de perfiles ocupacionales aprobados por el Consejo Nacional de Salarios publicado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad

Social de Costa Rica correspondiente al periodo 2020, publicado en la página oficial <http://www.mtss.go.cr/> donde se estipulan los siguientes salarios según corresponde el grado académico del profesional:

- Bachiller Universitario: 567,118.5 colones.
 - Licenciado Universitario: 680,565.53 colones.
- Para el cálculo por hora se trabajó en base a una jornada mensual de 240 horas.
 - En lo que respecta al tiempo invertido en la investigación, se definió un periodo de 26 semanas, expendiendo 2 horas diarias trabajadas 4 días por semana, para un total de 208 horas, aunado al tiempo invertido en actividades como reuniones y entrevistas.

	Costo x hr	# Pers	Hrs x pers	Total hrs	Total
Desarrollar del modelo	¢2,363.00	1	222	222	¢524,586.00
Tutorías	¢2,836.00	1	10	10	¢28,360.00
Entrevistados Bach.	¢2,363.00	3	2	6	¢14,178.00
Entrevistados Lic.	¢2,836.00	3	2	6	¢17,016.00
Encuestados	¢2,363.00	13	0.25	3.25	¢7,679.75
				Total	¢591,819.75

Tabla 17. Tabla de costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE PROYECTO

El modelo de desarrollo consiste en una estrategia estructurada que se debe aplicar al entorno o sector de las telecomunicaciones, donde se referencia lo que se pretende concretar, una tecnología 5G operativa y a disposición de la población.

El modelo tiene como objetivo cristalizar seis grandes aspiraciones:

1. **Un panorama claro a nivel financiero**, que minimice el riesgo de la alta inversión insoslayable en el desarrollo de un proyecto de tal magnitud, donde cada proveedor, a partir de sus fortalezas y oportunidades identificadas, establezcan que necesidades de mercado pretenden satisfacer.
2. **Procedimientos estructurados** que se deben seguir para lograr un avance ordenado en la búsqueda de esclarecer el panorama, todo a través de la identificación de la prioridad que tiene cada actividad que requiere ser ejecutada y su correspondiente peso en el proyecto.
3. **Un avance en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)**, definiendo los siguientes pasos a seguir, preferiblemente estableciendo fechas y el procedimiento que procede para la atribución de las frecuencias recuperadas y que posteriormente serán utilizadas para el desarrollo de la tecnología.
4. **Nivel de conocimiento y capacitación de los recursos**, estableciendo las necesidades reales con base en la experiencia adquirida con el desarrollo y mantenimiento de proyectos de telecomunicaciones. Estos planes deben maximizar las capacitaciones y establecer alcances en cada puesto, tanto para el personal interno como externo.
5. **Un plan de intervención sobre la infraestructura**, donde se continúa, de manera progresiva, los trabajos de mejora para satisfacer las necesidades de crecimiento o mejora requeridos para poder contar con una red 5G en un entorno adecuado.

6. **Una sociedad que se adapte a la evolución digital**, a través de acciones que incentiven al usuario a aprovechar las facilidades brindadas por redes de alta tecnología en pro del desarrollo socioeconómico del país.

Este modelo se estructura en 2 pilares y 6 líneas transversales, según se muestra en el siguiente esquema:

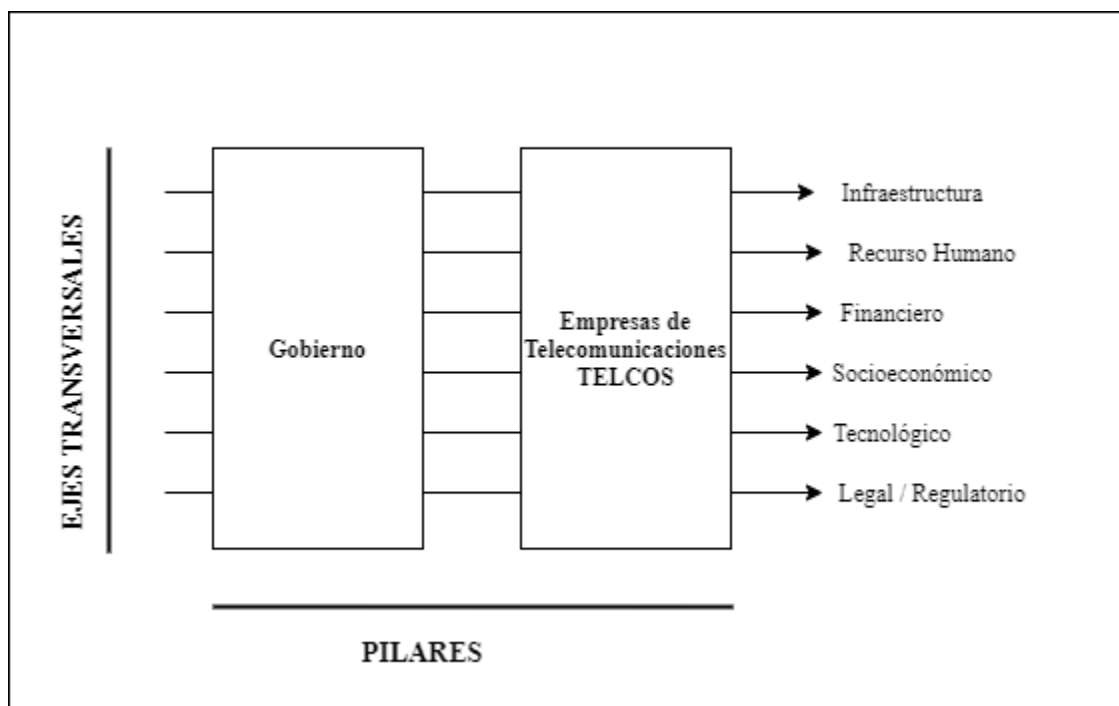


Figura 17. Estructura del modelo. Fuente: Elaboración propia.

Los dos pilares son: Gobierno y Las Empresas de Telecomunicaciones, cada uno con sus tareas que impactan en el objetivo buscado por el modelo, el cual es contar con un desarrollo en la tecnología 5G en Costa Rica. Estos pilares tendrán los siguientes objetivos:

- Gobierno: avanzar hacia una relación más cercana con las empresas de telecomunicaciones, facilitando los recursos requeridos para que estos puedan desarrollar los modelos tecnológicos.

- Empresas de Telecomunicaciones: evolucionar en sus redes para implementar una red telecomunicaciones moderna en tecnología 5G, esto con el apoyo del gobierno, al solicitar los recursos e intervenciones necesarias; además, trabajar en conjunto con sus respectivos proveedores en la definición de los procesos a ejecutar.

Con el propósito de alcanzar los objetivos establecidos para el modelo, se han identificado una serie de tareas y actividades que deben ser cumplidos, clasificados con el nombre de líneas transversales, siendo estos aspectos claves que trascienden en cada pilar, denominados Infraestructura, Recurso Humano, Financiero, Socioeconómico, Tecnológico y Legal / Regulatorio.

A continuación, el análisis de datos para cada uno de estos criterios:

Infraestructura

Necesidades

Se requiere optimizar la infraestructura actual, migrando el hardware que no cumple con los requerimientos técnicos de la tecnología, por nuevos equipos con mayores capacidades de transmisión y respuesta.

Además, se necesita aumentar la cantidad de radio bases operativas en las zonas identificadas óptimas para el desarrollo, donde actualmente se brindan servicios de telefonía móvil en las tecnologías 2G, 3G y 4G; para de esta manera poder satisfacer las necesidades de cobertura de la red 5G.

Por otro lado, se requiere disponer de planes de contingencia para lograr brindar cobertura a zonas de acceso complicado, ya sea por rutas de fibra óptica alternativa o medios alternos de transmisión, como, por ejemplo, inalámbricos, criterio que aún se encuentra en periodo de prueba.

Por último, existe la necesidad de definir el mercado o ubicación, que presente mayores facilidades para completar los escenarios de pruebas, las redes 5G presentan la característica que son desarrolladas en entornos delimitados, no son desarrollos en áreas extensas, sino al contrario, buscan brindar soluciones a un problema específico.

Solución

- Desarrollar un plan que defina las tareas y equipos que se requieren remplazar u optimizar, cuál sería el trabajo realizado en cada equipo y la prioridad de cada una de las actividades; de esta forma se garantiza un orden de necesidades reales a la hora de programar los cambios.
- Realizar un estudio de la mancha de cobertura actual y requerida, para lograr cumplir con la cantidad de radio bases y poder satisfacer la necesidad, puntualizando los espacios donde sería necesario el crecimiento, además, de igual forma priorizando estas necesidades con base en la propuesta del desarrollo de la red.
- Completar pruebas de laboratorio a los diferentes medios de transporte utilizados para el despliegue de la tecnología 5G, garantizando de esta forma, la operabilidad de la tecnología bajo las condiciones ofrecidas por el medio.
- Realizar un estudio de mercado y utilización de la red, además, considerando otros factores de despliegue, como, por ejemplo, la disponibilidad de fibra óptica, para seleccionar zonas de desarrollo ideales.

Financiero

Necesidades

Se necesita justificar la inversión e intentar minimizar el riesgo que conlleva el despliegue de una nueva red de telecomunicaciones, haciendo un análisis de la situación actual y las ventajas de negocio que traerían consigo el proyecto.

Solución

- Desarrollar un plan de negocio para el proyecto, donde se defina la estrategia, los objetivos, proyecciones y prioridades.
- Los fabricantes, con base en su experiencia, así como las misma 3GPP consideran en los diferentes releases y diferentes casos de uso para la tecnología, para lo que se debe identificar el modelo ideal según la región, y atacar el mercado óptimo, con las necesidades que se pueden satisfacer.

Legal / Regulatorio

Necesidades

Se necesita reacondicionar el espectro de radio del país, liberando las bandas utilizadas para la tecnología 5G y posteriormente asignándolas a las entidades correspondientes.

Además, se requiere contar con procedimientos preestablecidos y el conocimiento para agilizar los trámites de permisos legales, lo que requiere capacitación y trabajo en conjunto con el sector público.

Solución

- Establecer el procedimiento y avance a seguir con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), definiendo fechas de ejecución para que los proveedores pueden iniciar con la programación de sus actividades.
- Definir el modelo a seguir para la distribución de las frecuencias conforme avance el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, de manera que ya sea por licitación o arrendamiento; esto permitirá una mejor preparación a las empresas de telecomunicaciones.
- Diseñar una propuesta de plan de procedimientos y trabajo con los diferentes gobiernos locales u organizaciones dueñas de infraestructura, con quienes se requiere trabajar en conjunto para obtener los permisos de construcción correspondientes, y de esta manera agilizar el correcto flujo de los trabajos.

Recurso Humano

Necesidades

Se necesita definir un plan de trabajo donde se identifiquen las diferentes áreas de cada compañía que participarán dentro del desarrollo del proyecto y cuáles serán los roles en los que se espera aporten valor a los procesos. De esta manera se puede trabajar en diferentes planes, ya sea de capacitación, para el personal técnico; o de estudios de mercado, para personal de mercadeo; entre muchos otros departamentos que se deben involucrar, ya sea de manera activa o pasiva; generando una conciencia de pertenencia al éxito del proyecto.

Solución

- Capacitar el personal dentro de las diferentes tareas en las que se van a desenvolver, estableciendo el modelo de negocio con el proveedor, recalcando la importancia de tener autonomía sobre su infraestructura, y no tener una dependencia total del proveedor.
- Desarrollar un plan de inclusión, donde se motive al empleado a ser parte del proyecto y enfatizar la importancia que tiene el desarrollo de la tecnología 5G para Costa Rica.

Tecnológico

Necesidades

Se necesita estandarizar un modelo de trabajo e infraestructura que facilite el despliegue a las diferentes empresas para la planificación de los trabajos. También se requiere contar con mejores salidas de Internet en el país, facilitando el acceso al medio a las diferentes empresas de telecomunicaciones.

Solución

- Contar con un modelo de negocio cooperativo entre las empresas, donde se facilite el acceso a los medios y se busque un beneficio común.
- Aumentar la capacidad de los enlaces backbone de Internet que logren satisfacer el exponencial crecimiento en el uso de los datos pronosticado con la tecnología 5G, preferentemente contando con estas conexiones de manera local en el país, criterio que colaborará disminuyendo los tiempos de respuesta y la latencia, características vitales para la tecnología.

Socioeconómico

Necesidades

Se necesita incentivar a la población con respecto a la importancia de contar con los medios tecnológicos más innovadores, cambiando de esta manera, la cultura del país, dejando de ser simples espectadores, a tener la iniciativa de exigir cada vez mejores servicios en lo que a tecnología se refiere. Aunque actualmente la tecnología 5G está en una etapa de desarrollo en la mayor parte del mundo, debemos alinearnos a la actualidad, y apresurar su uso y otros beneficios que la ciencia nos brinda.

Solución

- Desarrollar un plan en conjunto con el gobierno que incentive el desarrollo de proyectos tecnológicos, como la necesidad de contar con una red de tecnología de punta, como lo es 5G. Decretando un proyecto de este tipo de interés nacional, motivará a la población e incrementará las expectativas, dinamizando de esta manera el mercado nacional. Actualmente el gobierno desarrolla planes como Fondo Nacional de Telecomunicaciones (FONATEL), que promueve el acceso universal, servicio universal y la solidaridad, y establece otras metas dentro del Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones (PNDT). La propuesta se desea que siga en esa línea, enfocando el esfuerzo en los avances del 5G.

CASOS DE USO

Nace la consulta de cómo se podrá vender el producto 5G, para elegir qué áreas desarrollar, hay que identificar las fortalezas propias, el ecosistema existente y el mercado

potencial. Se dice que 5G va a rentabilizar su operación en la calidad del servicio y su posibilidad de diferenciación en el tráfico, al permitir la segmentación de la red y satisfacer diferentes necesidades, todo gracias a su programabilidad. Esta flexibilidad se categoriza en las siguientes características:

- Rendimiento y confiabilidad: baja latencia y disponibilidad del 99.999%.
- Velocidad y ancho de banda: límite de descarga de 1Gbps y capacidad de transporte de datos de 10Tbps por kilómetro cuadrado.
- Agilidad de servicio y eficiencia energética: servicios desplegados en 90 minutos y consumo de energía 80% menor.
- Movilidad y número de dispositivos conectados: movilidad de hasta 500km/h y hasta 1 millón de dispositivos conectados por kilómetro cuadrado.

Bajo esta programabilidad brindada por la tecnología, se presentan las propuestas ofrecidas por los fabricantes de la tecnología para hacer el cobro del servicio y retorno de inversión dependiendo de la necesidad y su criticidad.

- Monetización del tráfico: los servicios que se centran en el alto uso de datos, como por ejemplo la realidad virtual, comunicaciones unificadas en alta definición, la video vigilancia, requieren de grandes cantidades de información, por ende, consumos masivos de datos.
- Monetización de la velocidad: consiste en una tarificación centrada en las descargas, asegurando la calidad del servicio según sea las necesidades. Esto lo podemos ver con eventos de acceso en vivo, donde se requieren altos anchos de banda, y según la calidad de video deseado garantizar velocidades de descarga suficientes. Es decir, un evento con

acceso a una calidad esperada de 360p requiere de 380Kbps en promedio, una calidad de 720p requiere de 5Mbps, pero un evento en 2K/4K requieren de 30 a 40 Mbps de descarga.

- Monetización de la latencia: representa un modelo de cobro específico para los servicios sensibles a la latencia, como, por ejemplo, juegos de realidad virtual, servicios interactivos, medicina y conducción asistida. Todos estos servicios requieren latencias inferiores a los 5ms, lo que permite la creación de perfiles en la red que den prioridad a este tipo de tráfico, por costos específicos para la aplicación.
- Monetización de las conexiones: un modelo de cobro para un cierto número de conexiones personales, donde se cobra con base en su uso específico. Aquí es donde entra el Internet de las cosas con *wearables*, IoT del hogar, sensores, entre otros.
- Monetización fragmentada: este modelo de slicing permite opciones de cobro dinámicas para necesidades puntuales, a las que se le configuran perfiles específicos según sea el requerimiento; es decir se hace un segmentado de la red de manera virtual que garantice la operabilidad del servicio. Aquí podemos mencionar la transmisión en vivo, la alta movilidad, u otra red que se contrate de manera dedicada. El network slicing forma parte de los servicios NaaS, aprovisionando la red para usuarios dedicados al crear redes virtuales desplegadas bajo demanda.

**CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
DEL PROYECTO**

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del modelo se obtienen las siguientes conclusiones:

- El desarrollo de un modelo para la implementación de una red de telecomunicaciones, se obtiene a partir del trabajo integro de gobierno y las empresas de telecomunicaciones, tanto públicas como privadas, lo que hace imperativo estrechar lazos entre las instituciones para lograr llegar a acuerdos que favorezcan los procesos de implementación en todos sus ámbitos.
- Las redes 5G no están generando los réditos esperados a los operadores alrededor del mundo, para lo que se requiere que cada operador, de manera independiente, defina un mercado específico al que pretende satisfacer las necesidades. En el país, se menciona como ejemplo, el desarrollo de la tecnología como un medio para mejorar los servicios de salud en el país, o en seguridad posibilitando mejores tiempos de respuesta antes eventos delictivos; siendo necesario que cada proveedor identifique sus fortalezas y las alinee con la oferta de su producto. Las redes 5G no responden al mismo modelo de sus predecesoras, sino que llegan a satisfacer mercados con necesidades específicas.
- Se identifica una falta de preparación por parte de los proveedores de servicios con respecto al plan de mejora que deben ejecutar en sus respectivas redes, quedando a la espera de una resolución por parte del proyecto nacional para la liberación de frecuencias.
- Se requiere priorizar el avance del proyecto descrito en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) para la liberación y posterior distribución de las frecuencias para el desarrollo de redes de última generación; estableciendo fechas y compromisos de todas las partes involucradas.

- Se identifica una necesidad de capacitación en el personal directo de los operadores con respecto a la tecnología, hardware y software. Actualmente, la dependencia de los operadores con respecto a la mano de obra experta recae sobre la experticia de sus proveedores.
- Se determina la necesidad de intervención por parte del estado, como facilitador de medios en esclarecer los procesos requeridos por los gobiernos locales, para un despliegue capilar de las redes de fibra óptica, requeridas por la tecnología 5G para habilitar el crecimiento en el uso de los datos.
- La pregunta 10 del apéndice C, aplicado a los responsables de las redes de comunicación de algunas empresas que operan en Costa Rica, demuestran un bajo interés por el uso y la implementación de enlaces en la tecnología 5G. Se requiere incentivar el uso de tecnologías innovadoras por medios de información masivos y de programas, como el implementado por el gobierno con FONATEL. De esta forma se puede lograr una efectiva incorporación de toda la población en el mundo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, además de reducir la brecha digital, esto permitirá abrir mayores oportunidades de desarrollo, ya sea para generar nuevos negocios, mejorar la prestación de servicios públicos, fortalecer los procesos de capacitación, educación y atención a la salud, crear nuevas fuentes de ingreso, todo lo que, sin duda, sumará a la reducción de la pobreza y a la desigualdad digital.
- Con el desarrollo de proyectos de esta magnitud, se identifica la posibilidad de reactivar la economía en muchos sectores, como, por ejemplo, la industria de dispositivos conectados a la red, como lo son teléfonos celulares, dispositivos IoT, o más innovadores, como la Inteligencia Artificial. Estas nuevas posibilidades dinamizan la economía y generan nuevas fuentes de empleo y mejoran las posibilidades de preparación académica en un país.

- Se identifica un beneficio a nivel social en el país, ya que el aporte que las TIC/Telecomunicaciones representan en el esfuerzo del Estado por enfrentar la corrupción y robustecer la transparencia. Las TIC son una poderosa herramienta de transformación que, puesta al servicio de la administración pública, puede ayudar en la simplificación de trámites, a crear economías de escala, a informar permanentemente a la población de los procesos y contrataciones públicas, a rendir cuentas de la gestión institucional, a abrir espacios para la participación ciudadana y a la mejora en la prestación de los servicios públicos.

- El desarrollo de proyectos en la tecnología 5G se verá afectado con retrasos y cancelaciones a nivel mundial, donde Costa Rica no será la excepción, debido a la situación que afecta al mundo entero con respecto a la pandemia ocasionada por el coronavirus COVID-19. Esto debido al atraso anunciado por la 3GPP de 3 meses para la liberación de los releases 16 y 17; además de las repercusiones económicas, consecuencia de la crisis enfrentada.

RECOMENDACIONES

El modelo de desarrollo de tecnologías 5G en Costa Rica puede verse favorecido si se siguen algunas recomendaciones, como las mencionadas a continuación:

- Los casos de uso son parte de las definiciones de los releases 16 y 17, cada uno de estos debe contar con un desarrollo completo, desde su diseño, puesta en marcha y estimaciones económicas esperadas con su respectiva implementación. El desarrollo de estos modelos debe identificar tanto factores técnicos, administrativos, sociales y principalmente financieros; reconociendo las necesidades reales de la población, considerando factores externos inesperados que pueden afectar el resultado, como, por ejemplo, el vivido con la situación pandémica que

afecta la sociedad y nos debe servir como enseñanza a todos para estar alertas a factores incontrolables, pero que deben ser mitigados por las compañías.

- Los casos de uso determinan los escenarios donde aplicar la tecnología, dependiendo la empresa de una correcta selección de estos para introducir su producto al mercado. Cuando se valora la idea de que necesidades se deben satisfacer para el despliegue de la tecnología, los proveedores identifican mercados específicos donde pretenden enfocar su esfuerzo en la creación de un producto atractivo al usuario y que maximice su rentabilidad. No obstante, también se denota una necesidad de contar con planes de contingencia ante resultados inesperados, para lo que se recomienda manejar mínimo 2 casos de uso claros y desarrollados, que abran la puerta a nuevos mercados y mayores ingresos, de esta manera se puede minimizar el riesgo de la inversión realizada.

- Cuando un producto se pone a disposición del cliente, se debe estar seguros de que se es capaz de satisfacer la creciente demanda que este pueda tener en el mercado; existen muchos escenarios de productos exitosos que han fracasado debido a que no han sido capaces de satisfacer la demanda. Esto también aplica para el mercado de las telecomunicaciones, donde un uso exponencial de la tecnología va a reflejarse en un uso masivo de datos e Internet, consumible que tiene un valor económico elevado en la actualidad, aunque se espera disminuya con el paso de los años. Se recomienda dimensionar el crecimiento y asegurarse que la necesidad pueda ser satisfecha y que el uso de la red no se convierta en una amenaza para el negocio, evitando saturar los enlaces internacionales contratados por cada proveedor, como también llegar a los límites de capacidad del hardware y software que brinda servicio a la red de telecomunicaciones.

- Se recomienda a las empresas contar con enlaces internacionales habilitados localmente, con esto se minimizan los tiempos de latencia y administración de la infraestructura, además de

minimizar el riesgo de eventuales situaciones externas que pudieran alterar la operación, hay casos conocidos, donde crisis políticas en países vecinos, han puesto en riesgo el flujo de la información y hasta limitado anchos de banda internacionales. Además, como se mencionó, con esta medida se puede minimizar significativamente los tiempos de respuesta en la navegación. Esta ha sido una recomendación tomada con base en la experiencia de proyectos ejecutados en mercados externos.

- Los administradores de las redes empresariales muestran un desconocimiento en el uso de enlaces móviles e inalámbricos como medio de transporte para sus correspondientes representadas; la mayor parte de los consultados en la encuesta realizada (apéndice C), valoran el uso de la fibra óptica y cobre como medio, muchas veces influenciados por la tradición. Existe una posibilidad de mercado para ofrecer la tecnología 5G como solución a enlaces empresariales, ya sea primarios o como enlaces de respaldo. La tecnología 5G promete velocidades de hasta 1Gbps, muy por arriba de la velocidad contratada por la mayor parte de las empresas encuestadas. Este tipo de enlaces brindan la posibilidad de rápidas implementaciones, menores costos de instalación y permitir que las redes sean configuradas con base en las necesidades específicas de cada cliente, gracias al slicing.

- Finalmente, se hace una recomendación a todos los participantes de un proyecto tan importante para el país, de trabajar en conjunto y velar por el bien común, se hace necesario en una economía mundial tan golpeada, poder como país competir en el mercado internacional con las mejores herramientas disponibles, en lo que respecta a las telecomunicaciones, la tecnología 5G. Lograr posicionar al país como una economía innovadora, hará atractiva la llegada de nuevas oportunidades de negocio e inversión y esto nos favorecerá a todos los costarricenses.

CAPÍTULO VII: APÉNDICES Y ANEXOS

Encuesta – TELCOS Desarrollo de la tecnología 5G en el país

Nombre: _____
Empresa: _____ Puesto: _____
Fecha / Hora: _____ Teléfono: _____

1. ¿Cuál es la situación actual de la tecnología LTE en la empresa?

2. ¿Cuándo es la fecha estimada para el despliegue de una red 5G?

3. ¿Quién está detrás del estándar 5G?

4. ¿Se han definido los requerimientos técnicos para el desarrollo de la red?

5. ¿Se han definido los requerimientos legales para el desarrollo de la red?

6. ¿Se ha estimado un presupuesto necesario para la implementación?

7. ¿Se ha realizado algún tipo de trabajo para preparar la red para una futura implementación?

8. ¿Qué prioridad se le está dando a la implementación de redes 5G?

9. ¿Gubernamentalmente hay algún requerimiento o fecha indicada como requisito para contar con la tecnología?

10. ¿Cuál es la mayor dificultad identificada para el desarrollo de la tecnología?

11. ¿El estado ha funcionado como un facilitador en el desarrollo de la tecnología?

12. ¿Qué impacto comercial se espera con la introducción de la tecnología 5G?

13. ¿Cuál es el mayor aporte de la tecnología a la sociedad?

14. ¿Qué responsabilidad tiene Sutel en el proceso? (Alcance y límite)

15. ¿Qué bandas utiliza el 5G? ¿Se encuentran estas disponibles?

16. ¿Se debe reacondicionar el espectro de radiofrecuencias?

17. Como usuario, ¿vale la pena hacer la migración a la nueva tecnología 5G?

18. ¿Cuáles serán las velocidades de descarga esperadas desde un dispositivo móvil con 5G?

19. ¿Se requiere capacitación especial para el personal? ¿En qué áreas?

20. ¿Puede afectar la situación socioeconómica del país el desarrollo exitoso del proyecto?

21. Comercialmente, ¿se ha estimado la necesidad de las terminales, el costo y la facilidad de acceso al cliente?

22. ¿Están obligados todos los TELCOS en el país a desarrollar la tecnología?

23. ¿El 5G pretende suplantar alguna tecnología actualmente ofrecida en el mercado?

24. ¿Cuál es el estado de la tecnología fuera de nuestras fronteras?

25. ¿Cómo se pretende satisfacer la necesidad del incremento en el uso de los datos móviles en los enlaces de Internet?

26. ¿Cuál es la mayor necesidad identificada en el país para desarrollar la tecnología 5G?

27. ¿Cuántas radio bases móviles dan servicio actualmente y cuál es el crecimiento esperado?

28. ¿Existe un plan de ventajas de negocio que justifique la inversión requerida para el desarrollo de la tecnología?

Encuesta – Proveedores Desarrollo de la tecnología 5G en el país

Nombre: _____
Empresa: _____ Puesto: _____
Fecha / Hora: _____ Teléfono: _____

1. ¿Cuál es la situación actual de la tecnología 5G en el país?

2. ¿Cuándo es la fecha estimada para el despliegue de una red 5G?

3. ¿Quién está detrás del estándar 5G?

4. ¿Se han definido los requerimientos técnicos para el desarrollo de la red?

5. ¿Se han definido los requerimientos legales para el desarrollo de la red?

6. ¿Gubernamentalmente hay algún requerimiento o fecha indicada como requisito para contar con la tecnología?

7. ¿Cuál es la mayor dificultad identificada para el desarrollo de la tecnología?

8. ¿Qué impacto comercial se espera con la introducción de la tecnología 5G?

9. ¿Cuál es el mayor aporte de la tecnología a la sociedad?

10. ¿Qué responsabilidad tiene Sutel en el proceso? (Alcance y límite)

11. ¿Qué bandas utiliza el 5G? ¿Se encuentran estas disponibles?

12. ¿Se debe reacondicionar el espectro de radiofrecuencias?

13. Como usuario, ¿vale la pena hacer la migración a la nueva tecnología 5G?

14. ¿Cuáles serán las velocidades de descarga esperadas desde un dispositivo móvil con 5G?

15. ¿Se requiere capacitación especial para el personal? ¿En qué áreas?

16. ¿Puede afectar la situación socioeconómica del país el desarrollo exitoso del proyecto?

17. Comercialmente, ¿se ha estimado la necesidad de las terminales, el costo y la facilidad de acceso al cliente?

18. ¿Están obligados todos los TELCOS en el país a desarrollar la tecnología?

19. ¿El 5G pretende suplantar alguna tecnología actualmente ofrecida en el mercado?

20. ¿Cuál es el estado de la tecnología fuera de nuestras fronteras?

21. ¿Qué recomendaciones se hacen para satisfacer la necesidad del incremento en el uso de los datos móviles en los enlaces de Internet?

22. ¿Cuál es la mayor necesidad identificada en el país para desarrollar la tecnología 5G?

23. ¿Existe un plan de ventajas de negocio que justifique la inversión requerida para el desarrollo de la tecnología?

24. ¿Existe algún país en Latinoamérica donde se haya desarrollado un modelo de red 5G?

25. ¿Cómo se realizan pruebas con dispositivos terminales si aún no se cuenta con un estándar definitivo?

26. ¿Se encuentran los usuarios capacitados para aprovechar el potencial de la tecnología?

27. ¿Cómo afronta el país el reto de avanzar en temas innovadores como IoT o IA?

Apéndice B. Encuesta realizada a los proveedores. Fuente: Elaboración propia.

Encuesta – Clientes Empresariales uso de Internet

Nombre: _____

Empresa: _____

Puesto: _____

Fecha: _____

1) ¿Cuenta la empresa con enlace de Internet primario?

Si

No

2) ¿Cuál es la velocidad contratada para este enlace?

- a) Menos de 50Mbps
- b) 50Mbps a 99Mbps
- c) 100Mbps a 299Mbps
- d) 300Mbps a 499Mbps
- e) 500Mbps o más

3) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace?

- a) Red digital ADSL
- b) Conexión por fibra óptica
- c) Conexión por cable de cobre
- d) Conexión vía satélite
- e) Redes inalámbricas (WiFi de largo alcance, LMDS, PLC, Wimax, etc.)
- f) Telefonía móvil (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE)

4) ¿Cuenta la empresa con un enlace de Internet redundante? (Si su respuesta es NO continúe en la pregunta 7)

Si

No

5) ¿Cuál es la velocidad contratada para el enlace redundante?

- a) Menos de 50Mbps
- b) 50Mbps a 99Mbps
- c) 100Mbps a 299Mbps
- d) 300Mbps a 499Mbps
- e) 500Mbps o más

6) ¿Cuál es el tipo de conexión de Internet de su enlace redundante?

- a) Red digital ADSL
- b) Conexión por fibra óptica
- c) Conexión por cable de cobre
- d) Conexión vía satélite
- e) Redes inalámbricas (WiFi de largo alcance, LMDS, PLC, Wimax, etc.)
- f) Telefonía móvil (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE)

7) ¿Cuál es el tiempo de latencia de su enlace al realizar un ping al servidor de google.com 8.8.8.8??

- a) Menos de 10ms
- b) 10ms a 49ms
- c) 50ms a 99ms
- d) 100ms a 149ms
- e) 150ms o más

8) ¿Cuenta con aplicativos en la red que requieren bajos tiempos de latencia (voz, datos críticos, etc.)?

- a) Si. ¿Cuáles? _____
- b) No

9) ¿Tiene conocimiento respecto a la tecnología 5G y sus beneficios?

Si	No
----	----

10) ¿Le interesaría implementar un enlace 5G empresarial conociendo las mejoras en el rendimiento y tiempo de respuesta ofrecidas por las redes 5G?

Si	No
----	----

Apéndice C. Encuesta realizada a clientes. Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional del Espectro. (2011). ¿Qué es el espectro radioeléctrico? Obtenido de ane: <http://www.ane.gov.co/index.php/conozca-la-ane/que-es-el-espectro/que-es-el-espectro.html>
- Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de robótica* (2nd ed.). Madrid: McGraw-Hill, Interamericana de España.
- BOEHRER, J. Y M. LINSKY (1990). “Teaching with Cases: Learning to Question”, en Svinicki, M.D. (ed.), *The Changing Face of College Teaching. New Directions for Teaching and Learning*, no. 42. San Francisco: Jossey-Bass.
- Chao, K., Jiang, L., Hussain, O., Ma, S., & Fei, X. (2019). *Advances in E-Business Engineering for Ubiquitous Computing*. Suiza: Springer Nature Switzerland.
- Denzin, N., & Lincoln, Y. (2012). *El campo de la investigación cualitativa* (1st ed.). Barcelona: Gedisa.
- Edgeworth, B., Rios, R., Hucaby, D., & Gooley, J. (2020). *CCNP and CCIE Enterprise Core ENCOR 350-401 Official Cert Guide* (1st ed.). San José, California: Cisco Press.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. Research Report*. Center of Regional Science, Viena UT, Vienna, Austria, 2007; http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- Gonzáles, J. & Salamanca, O. (2016). *El camino hacia la tecnología 5G*. Revista Electrónica de Estudios Telemáticos, vol 15, pp. 27-47.
- MICITT Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (2014). *Propuesta Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones 2015-2021 “Costa Rica: Un País Conectado”*.

- MINAET Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Presidente de la República (2009). Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF).
- Mukhametov, D. (2019). *Smart City: From the Metaphor of Urban Development to Innovative City Management*. TEM Journal, (Volumen 8), 1247-1251.
- Odom, W. (2017). *CCNA routing and switching ICND2 official cert guide*. Indianapolis, United States of America: Pearson Education, Inc.
- Ortiz, L., Cadavid, S., Fernandez, J. & Gallego, C. (2018). *Computación en la nube: estudio de herramientas orientadas a la industria 4.0*, Lámpsakos, no. 20, pp 68-75, 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2560>.
- Palacio, A. (2015). Reglamentación del Uso del Espectro Radioeléctrico en las Actividades Espaciales. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, 14. Universidad de los Andes (Colombia)
- Seda, P., Masek, P., Stusek, M., Hosek, J. & Sedova, J. (2018). *Virtualization and Managing Platform for Narrowband-IoT Devices*. Department of Telecommunications, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic.
- Sitton-Candanedo, I., & Corchado, J. (2019). An Edge Computing Tutorial. *Oriental Journal Of Computer Science And Technology*, (Vol.12), 34-38. Retrieved from <http://www.computerscijournal.org>
- Sundhar, K. & Miller, L. (2017). *5G for Dummies*. New Jersey: John Wiley & sons, Inc.
- Superintendencia General de Telecomunicaciones SUTEL (2008). *Ley General de Telecomunicaciones – Disposiciones Generales, Administración del Espectro Radioeléctrico y Títulos Habilitantes*.

- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1985). Reglamento de Radiocomunicaciones. Ginebra: UIT.
- Vadapalli, S. (2017). Hands-on DevOps. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.