



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS SERIES DE TIEMPO Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN
APLICADOS A LA PROYECCIÓN ESTADÍSTICA
DE LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN LA TELEFONÍA MÓVIL DE GUATEMALA**

Diego Roberto Roche Palacios

Asesorado por el MSc. Ing. Jorge Augusto Balsells Orellana

Guatemala, diciembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS SERIES DE TIEMPO Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN
APLICADOS A LA PROYECCIÓN ESTADÍSTICA
DE LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN LA TELEFONÍA MÓVIL DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ROBERTO ROCHE PALACIOS
ASESORADO POR EL MSC. ING. JORGE AUGUSTO BALSELLS ORELLANA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, DICIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
EXAMINADORA	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Leonel Gómez Bravo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS SERIES DE TIEMPO Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN APLICADOS A LA PROYECCIÓN ESTADÍSTICA DE LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN LA TELEFONÍA MÓVIL DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 10 de noviembre de 2022.

Diego Roberto Roche Palacios

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por permitirme llegar a este ansiado día, cargado de ilusiones y ambiciones. Y por conocer a personas muy valiosas.

Mi abuelita

Mercedes Soto, por su admirable ejemplo, dedicación, humildad, valor y positivismo.

Mis padres

Héctor Roche y Dinora Palacios, por su incansable espíritu de perseverancia e infinito soporte.

Mis hermanos

Pablo y Gaby Roche, por su compañía y cariño.

Mi amigo

Erick de Paz, por el apoyo, la confianza, el cariño y por sus palabras oportunas. Espero que Dios le retribuya todo lo que ha hecho por mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi familia

Por ser ese motor de apoyo y gasolina de porras cuando ya no podía más.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Porque gracias a que es pública, pude tener acceso a estudios universitarios, y por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas.

Los hermanos de la iglesia

Por sus constantes oraciones, preocupación y palabras de ánimo para mí.

Mis amigos de Facultad

El grupo de positrón, amigos de Química, IEEE, AEI 2017, y todos aquellos con los que compartimos sufrimiento en entregas de laboratorios, por su sincera amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	10
3.3. Formulación del problema	11
3.4. Delimitación del problema.....	12
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. OBJETIVOS.....	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN...17	
7. MARCO TEÓRICO	19
7.1. Estadística	19
7.1.1. Tipos de estadística	19
7.1.2. Estadística Descriptiva	20
7.1.3. Estadística Analítica o Inferencial.....	20
7.1.3.1. Pronósticos.....	21
7.1.3.1.1. Métodos de pronósticos	21

7.1.3.1.2. Métodos cualitativos.....	21
7.1.3.1.3. Métodos Cuantitativos	22
7.1.3.1.4. Series de tiempo	22
7.1.3.1.4.1. Patrones o componentes.....	23
7.1.3.1.5. Pronóstico ingenuo o Naïve	26
7.1.3.1.6. Pronósticos de medias constantes.....	27
7.1.3.1.7. Pronósticos de medias móviles	28
7.1.3.1.8. Regresión lineal simple	28
7.2. Industria de telecomunicaciones	30
7.2.1. Elementos principales.....	31
7.2.1.1. Telefonía celular	31
7.2.1.2. Antenas.....	31
7.2.1.2.1. Características de una antena.	32
7.2.1.2.1.1. Frecuencias de operación	32
7.2.1.2.1.2. Patrón de radiación	34
7.2.1.2.1.3. Polarización de la antena	35
7.2.1.3. Core	37
7.2.1.3.1. Circuit Switching (CS)	37
7.2.1.3.2. Packet Switching (PS).....	38
7.2.1.4. Tecnologías	38
7.2.1.4.1. Primera generación.....	38
7.2.1.4.2. Segunda generación	38
7.2.1.4.3. Tercera generación	39
7.2.1.4.4. Cuarta generación.....	40

7.2.1.4.5. Quinta generación	41
8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	45
9. METODOLOGÍA	47
9.1. Características del estudio.....	47
9.2. Unidades de análisis.....	48
9.3. Operativización de variables	48
9.4. Fases del estudio.....	49
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	51
11. CRONOGRAMA.....	53
12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	55
12.1. Recurso humano	55
12.2. Recursos tecnológicos.....	55
12.3. Acceso a información y permisos	56
12.4. Recursos complementarios	56
12.5. Recursos financieros	56
REFERENCIAS	59
APÉNDICES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Serie de tiempo con tendencia lineal	24
2.	Serie de tiempo con patrón estacional.....	24
3.	Serie de tiempo con patrón cíclico.....	25
4.	Serie de tiempo con patrón aleatorio	26
5.	Pronóstico utilizando el método Naïve.....	27
6.	Estrategia en la predicción valores de “y”	30
7.	Ejemplo de longitud de onda	33
8.	Longitud de la antena dipolo.....	33
9.	Patrón de radiación de una antena dipolo	35
10.	(a) RHCP (b) LHCP	36
11.	Arquitectura de telefonía móvil	40
12.	5G NSA Opción 3, 3a y 3x.....	42
13.	5G NSA Opción 7, 7a y 7x.....	42
14.	5GC	43
15.	5G SA.....	44
16.	Cronograma de la investigación	54

TABLAS

I.	Operativización de variables	48
II.	Presupuesto	57

GLOSARIO

Muestra	Parte o cantidad pequeña de una cosa que se considera representativa del total y que se toma o se separa de ella con ciertos métodos para someterla a estudio, análisis o experimentación.
<i>Multiplexor</i>	Dispositivo que permite transmitir varias señales independientes por el mismo canal.
<i>Ondas electromagnéticas</i>	Perturbación periódica en un campo electromagnético, que se propaga a través del espacio y que, según su intervalo de frecuencia, recibe denominaciones especiales
Población	Conjunto de los elementos sometidos a una evaluación estadística mediante muestreo.
<i>Roaming</i>	Es un servicio que permite a los usuarios continuar usando sus teléfonos u otros dispositivos móviles mientras visitan otro país, para realizar y recibir llamadas de voz, enviar mensajes de texto, navegar por internet y enviar y recibir correos electrónicos.
<i>Ruido</i>	Toda señal no deseada que se mezcla con la señal útil que se quiere transmitir.

<i>Streaming</i>	Tecnología que permite ver y oír contenidos que se transmiten desde internet u otra red sin tener que descargar previamente los datos al dispositivo desde el que se visualiza y oye el archivo.
<i>Throughput</i>	Cantidad de datos que son transmitidos hacia o desde algún punto de la red.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación propuesta aborda la problemática sobre la adopción de tecnologías 5G en la telefonía móvil de Guatemala, visto desde una perspectiva estadística. Este es un campo novedoso puesto que en el país durante el 2022 los operadores de telefonía hicieron el lanzamiento oficial de dichas tecnologías.

Se desconoce el impacto económico que pueda llegar a tener la implementación de estas tecnologías. Debido a que en la sociedad en general existe un alto desconocimiento de lo que implica.

Cuando se realiza el dimensionamiento de una red de telefonía, es primordial la optimización de recursos económicos, por lo que saber un estimado de usuarios es vital para evitar el derroche de estos recursos. Para el usuario final es importante conocer cuáles son las ventajas que tienen estas tecnologías e impactará directamente en el tamaño de la red la predisposición a la migración (tanto de tarjeta SIM y terminal móvil).

El enfoque de la investigación propuesta es cuantitativo, ya que se analizará el comportamiento de la demanda de servicios 5G de telefonía móvil en el territorio guatemalteco. Se considera un diseño no experimental (observacional) transversal y el alcance está distribuido como descriptivo, exploratorio y correlacional.

Se espera que los resultados de la investigación propuesta sean de utilidad para los operadores, para que puedan optimizar el dimensionamiento de la red; el consumidor final, que tendrá mayor claridad de estas tecnologías; el

Gobierno Central, que tendrá bases estadísticas de la necesidad de políticas públicas relacionadas a las telecomunicaciones y más específicamente a la distribución de 5G.

Para la ejecución de la investigación se plantean cuatro fases, donde la primera establecerá algunos precedentes e información de interés respecto a los modelos de series temporales, ya que serán de gran utilidad para el entendimiento de los resultados esperados. En la segunda fase se recopilará datos relacionados a la penetración móvil, migración de usuarios, tráfico generado, entre otros; todo esto por país. Datos con los cuales se conformará un modelo de predicción y luego se evaluará su validez. Para la cuarta fase de ejecución, se realizará la discusión de resultados; donde se interpretarán los resultados de validez de cada modelo generado, así como su aplicación real a la red de Guatemala, pudiendo generar una predicción de usuarios hasta 2030. Por último, en la cuarta fase, se elaborará un informe que contará con las anteriores fases y concluirá sobre los resultados alcanzados.

Se puede asegurar que el estudio propuesto es factible, debido a que se cuenta con todos los recursos para desarrollar las fases anteriormente mencionadas. Cabe destacar que el costo total será cubierto por el investigador y no recibirá ningún financiamiento externo en forma de donaciones o incentivos.

El informe final estará estructurado en cuatro capítulos, donde el primer capítulo estará constituido por el marco referencial donde se incluirán estudios que aborden de cierta forma la problemática planteada para esta investigación.

En el segundo capítulo se detallará el marco teórico, el cual está seccionado en dos, en la primera se describen los métodos estadísticos de interés que se emplearán en la construcción de un modelo de predicción. La

segunda sección está integrada por los conceptos relacionados a la industria de las telecomunicaciones, si bien no se pretende que el estudio sea sobre este ámbito, es necesario entender lo fundamental para poder realizar una interpretación clara de los resultados.

En el tercer capítulo se realizará la presentación de los resultados, incluye los modelos y gráficos a los que se llegue en la tercera fase de ejecución.

Por último, el cuarto capítulo es dedicado a la discusión de resultados, en donde se emiten conclusiones y recomendaciones acerca de los mismos.

2. ANTECEDENTES

A nivel global existe una tasa de crecimiento relativamente baja respecto a la adopción de los servicios de telecomunicaciones, de acuerdo con Barbero (2019), en 2017 cada usuario de *smartphone* generó 3.37 GB de la tasa de transferencia efectiva (*throughput* – TP), y para el 2021 la proyección era de 11.1GB. La lenta adopción de tecnologías y migración de usuarios no ha permitido explotar todo el potencial que presentan los valores teóricos.

En América Latina muchos de los países, incluye Guatemala, aún cuentan con usuarios legados, es decir, usuarios que operan con 2 y 3G. Estos servicios retienen la adopción y rápido despliegue de nuevas tecnologías. De acuerdo con la GSMA (*Global System for Mobile Communications Association*) (2021): en septiembre de 2021 ya existían 170 redes 5G activas, en 69 países de todo el mundo. Los países latinoamericanos que destacan en esta lista son Brasil, Colombia y Perú. Cabe destacar que la implementación de redes 5G independientes (SA – *Stand Alone*) solamente está registrada en 14 países de los 170 mencionados por la GSMA.

El despliegue en núcleos urbanos densos a través de *small cells* implica una proliferación de nuevas ubicaciones de antenas, esto se debe a que las frecuencias en las que se recomienda la operación de tecnologías 5G son muy altas, por lo que se ven susceptibles a la atenuación por causas naturales, como lo pueden ser las lluvias y los árboles; además, es más difícil para una onda de estas características la penetración en los edificios. En el estudio presentado por Pérez (2018) enlista recomendaciones respecto a la implementación de

infraestructura en España, dónde se remarca la necesidad de políticas públicas que regulen dicha implementación.

En el estudio presentado por Moreira y Zambrano (2022), destacan el complejo panorama para Guatemala, puesto que, desde junio de 2006, todos los procesos para asignar frecuencias reguladas en el rango de 3.0 a 4.0 GHz están suspendidas. En el citado estudio también se presenta un análisis de factibilidad de implementación de 5G en Bolivia, dónde se destaca el poco interés de los operadores al plantear únicamente sitios experimentales, el poco interés del gobierno central al no tener contempladas políticas públicas de regulación.

En 2018 se presentó un análisis del impacto y propuesta de implementación de vehículos eléctricos en Guatemala, donde se analizan distintos panoramas para generar una proyección. Empleando técnicas de correlación, utiliza como variables los vehículos vendidos, consumo de combustible, consumo de electricidad y emisiones de CO₂. Permitiéndole a Fernando Anaya (autor de la publicación); modelar los impactos económicos por los ingresos no percibidos de los impuestos al combustible. (Anaya, 2018)

Para la implementación de tecnologías de quinta generación existen muchos factores que deben ser tomados en cuenta, los operadores de telefonía móvil buscan un rápido despliegue lo que puede llegar a ser un error al no dimensionar adecuadamente la red. Essentra Components (2021) destaca algunos de los principales problemas con los que se enfrentan los proveedores y operadores en esta implementación. Problemas como las frecuencias de operación, el tipo de antenas, la potencia, la seguridad son algunos de los apartados más destacados en el estudio.

La empresa Ericsson, conocida mundialmente por ser una de las principales empresas dedicada a las telecomunicaciones y por ende vanguardista de las tecnologías 5G. En el 2021 se realizó un estudio cualitativo, por medio de encuestas para poder predecir la cantidad de usuarios de 5G a nivel mundial. En él se destaca el interés de las personas, pero también se hace notar que esta generación de tecnologías fue lanzada en medio de una pandemia, por lo que la adopción de estas tecnologías puede llegar a tener un impacto más lento de lo que se esperaba inicialmente. (Ericsson, 2021)

Costa Rica es otro de los países centroamericanos dentro de la carrera por la implementación de redes 5G. Este proceso beneficiaría a casi la totalidad del país, remarcando un 96.6 % de la población que ya cuenta con acceso a la telefonía móvil. Dentro del mismo estudio también destacan el efecto económico, puesto que se estima que en toda Latinoamérica se han generado 400 mil millones de dólares por ingresos en tecnologías y servicios móviles. (Silva-Atencio, 2022)

Cuando se realiza la implementación de nuevas tecnologías es necesario que existan regulaciones, tanto para limitar a las empresas, como para proteger los derechos de los usuarios finales. Tal vez uno de los parámetros más delicados es el límite de radiación no-ionizante, es fundamental para resguardar la salud de la población en general. Guatemala reconoce los límites de la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Otras regulaciones que deben ser consideradas son la planeación urbana, instalaciones, procedimientos de operación. (Arias *et al.*, 2021)

La elaboración de un modelo de pronósticos sobre procesos no estables es sumamente compleja, por la cantidad de variables que pueden influir; algunos de los eventos más importantes son el tiempo en el que se lanzó la tecnología,

en el caso de 5G se vuelve sumamente complejo puesto que es la primera generación implementada en medio de una recesión económica tan fuerte como la generada por la pandemia COVID-19. Es por eso por lo que se toma como ejemplo generaciones anteriores, como lo puede ser LTE; y lo que se ha realizado en otros países, para tener una validez del modelo. (Jahng y Seung, 2019)

Estas fuentes serán útiles para la investigación gracias al precedente que marcan en la implementación de nuevas tecnologías en otros países, más específicamente la de tecnologías de 5^a generación de telefonía. Con esto se tiene un mejor panorama de cómo se han abordado la problemática y amplía la visión de la solución.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Todas las personas en su día a día están en constante contacto con la tecnología, desde las novedosas refrigeradoras que proveen un listado detallado de todos los productos, la computadora con la que realizan su trabajo, un televisor conectado a su servicio de *streaming* favorito para no perderse el capítulo de la serie de moda, o simplemente el primer aparato que muchos ven en el día, aquel que les quita el sueño zumbando y reproduciendo un tono estridente a modo de alarma, el teléfono celular.

Los teléfonos celulares se han vuelto parte esencial de la vida, tanto es así que el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE) establece dentro de la canasta básica ampliada un apartado para “comunicaciones” donde engloba: teléfonos celulares, planes de datos, voz e internet residencial.

En América Latina la implementación de la telefonía móvil se encuentra rezagada respecto a países de primer mundo como lo son Estados Unidos, China o Alemania. Mientras que estos países dedican el 3.45 %, 2.4 % y 3.14 % del producto interno bruto (PIB) al gasto en investigación y desarrollo, Guatemala dedica únicamente el 0.03 %, de acuerdo con la información presentada por el Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (Banco Mundial, 2021) Durante el mes de julio de 2022 los operadores de telefonía móvil en Guatemala anuncian el lanzamiento comercial de redes 5G, uniéndose así a un selecto grupo de

países, sin embargo, en algunos países la siguiente generación de tecnología (6G) ya comienza a ser punto de debate entre sus desarrolladores.

Para los operadores es importante el rápido despliegue de la red 5G para llegar a la etapa denominada Stand Alone (SA) y así poder brindar todas las bondades teóricas de esta tecnología para la mejor experiencia de los usuarios, no solo a nivel nacional o regional, sino mundial.

El mismo retraso en la implementación de nuevas tecnologías hace que los operadores de telefonía sigan teniendo en operación equipo que se remonta al siglo pasado desde su puesta en producción. Esto a su vez conlleva que muchos usuarios aún consuman servicios 2G y 3G (servicios *legacy*), principalmente en áreas rurales donde la economía afecta directamente la migración de usuarios a 4G y la posible migración a 5G.

3.2. Descripción del problema

Cabe destacar que el mercado y necesidades existentes en América Latina no son las mismas que en otros territorios. Una de las primeras inquietudes que surgen al tratar de dimensionar la red 5G, es el estado en el que se encuentra la red, el índice de penetración (porcentaje de población utilizando servicios móviles) e influencia que tienen los operadores de telefonía móvil en Guatemala. Esto debido a que la primera etapa de 5G *Non-Stand Alone* (NSA) opción 3; utiliza como base la red 4G para generar un ensanchamiento y poder soportar usuarios 5G.

Una pregunta más que válida para un usuario potencial podría ser ¿vale la pena invertir en equipos especializados y compatibles con 5G? Es importante saber con certeza si existe un valor agregado en su día a día. Y en caso de que

los usuarios estén dispuestos a cambiar sus terminales, el operador debe estar preparado para soportar el tráfico de los nuevos usuarios 5G, por lo que es necesario poder predecir la cantidad de usuarios que esta red pueda llegar a tener.

Al igual que las revoluciones industriales, las generaciones de telefonía móvil tienen un impacto directo en la economía del país, en el modelo de negocios y en la sociedad; es de interés primordial cuantificar el impacto económico que la implementación de estas nuevas tecnologías pueda tener en Guatemala.

3.3. Formulación del problema

Pregunta central

¿Cuáles son los efectos económicos de la implementación de tecnologías 5G en Guatemala sobre los operadores y los potenciales usuarios?

Preguntas auxiliares

1. ¿Qué grado de penetración en cuanto a telefonía móvil, presentan los operadores de teléfono en las áreas rurales de Guatemala?
2. ¿Cuál es la diferencia entre 4G y 5G respecto a velocidad real, infraestructura y ofertas de terminales en el mercado?
3. ¿Cuánta demanda a nivel de usuarios 5G se puede predecir para Guatemala?

3.4. Delimitación del problema

El objetivo del estudio son los impactos económicos y potenciales usuarios de tecnologías 5G en Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

La problemática se enmarca en el campo de las telecomunicaciones y en las líneas de investigación de pronósticos y probabilidad aplicada. Se plantea un estudio acerca de las nuevas tecnologías de quinta generación y se estimarán distintos estadísticos a modo de pronóstico.

Es importante desde el punto de vista económico, ya que todas las generaciones de telefonía móvil representan un impacto directo en la dinámica de un país. No solamente trayéndole beneficios a los operadores de telefonía, sino, los crecientes negocios que dependen de servicios de internet.

La motivación de realizar la presente investigación es evaluar los impactos que tenga la implementación de estas nuevas tecnologías, debido a lo novedoso del tema y la reciente implementación en Guatemala.

Con la realización de este estudio se pretende que los operadores de telecomunicaciones y los diferentes proveedores se vean beneficiados puesto que se puede optimizar los recursos económicos y mejorar el dimensionamiento de las redes.

El problema es del interés de los operadores de telefonía móvil en el territorio guatemalteco y también de organizaciones gubernamentales como la SIT, ya que son estos los principales actores de la implementación de servicios 5G en Guatemala.

Se espera que el planteamiento de la problemática brinde bases estadísticas de la necesidad de políticas públicas relacionadas a las telecomunicaciones, más específicamente a la distribución de 5G y que exista un mejor entendimiento de estas tecnologías. Además, la problemática puede brindar visibilidad de las ventajas teóricas que tienen los servicios 5G que pueden ser fácilmente aplicables a educación, salud, desarrollo industrial, entre otros.

5. OBJETIVOS

General

Elaboración de un modelo de proyección con series de tiempo y análisis de regresión, sobre la adopción de tecnologías 5G en la telefonía móvil de Guatemala.

Específicos

1. Estimar el grado de penetración de telefonía móvil en áreas rurales de Guatemala, contrastando la densidad poblacional con zonas registradas con cobertura; mediante el muestreo por conglomerados y estadística descriptiva para ampliar la estimación relacionada a los costos de sitios en áreas rurales.
2. Comparar las diferencias entre tecnologías de 4ta y 5ta generación; respecto a velocidad real, infraestructura y oferta de terminales en el mercado; utilizando intervalo de confianza para brindarle al usuario final una mejor idea de los costos y el retorno que pueda tener al cambiar de terminal móvil.
3. Predecir la demanda a nivel de usuarios 5G para Guatemala, a través de un modelo que tome en cuenta información anterior y de otros países; para relacionar los costos, retorno y cantidad de equipo necesario para la cobertura.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

Al ser un campo totalmente nuevo dentro de Guatemala, cada uno de los actores se ve beneficiado de la solución del problema. Desde el usuario final que tendrá un panorama más claro sobre las tecnologías 5G, los operadores de telefonía móvil que pueden programar de una mejor forma los costos, el gobierno central podrá ver la necesidad de regulaciones.

De acuerdo con la asociación GSM (*Global System for Mobile Communications*), la implementación de tecnologías 5G conllevará a finalmente tener una cuarta revolución industrial. Cambiando completamente el modelo de negocios y la economía de los países. (GSMA, 2021)

Para estimar el grado de penetración de telefonía móvil en áreas rurales de Guatemala, se aplicará un muestreo estratificado, estimaciones poblacionales, estadística descriptiva y correlación lineal simple. Donde se dará por cumplido el objetivo con una validación de modelos generados a partir del muestreo y la correlación lineal, además de las medidas de tendencia central.

La comparación entre tecnologías de 4^a y 5^a generación se realizará por medio de intervalos de confianza y pruebas de hipótesis sobre la diferencia de medias, para ampliar la perspectiva de los usuarios finales, brindando una mejor idea de los costos y el retorno que puedan tener al cambiar de terminal. Se dará por cumplido el objetivo cuando (por medio de los métodos mencionados) pueda indicarse si la diferencia de medias es significativa.

Para poder predecir la demanda a nivel de usuarios 5G para Guatemala se empleará un análisis de regresión múltiple, validación de modelos y series de tiempo; utilizando como variables información pasada y de otros países, tanto a nivel de usuarios como de tráfico generado. Se dará por cumplido el objetivo cuando se tenga un modelo de correlación.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Estadística

La estadística es una rama de la ciencia que puede ser fácilmente aplicable a todas las demás. Es un método científico que intenta sacar conclusiones a partir de las observaciones que hacemos, ocupándose de la presentación, recolección, agrupación, análisis e interpretación de datos. (Martínez, 2019)

En el mundo moderno, donde todos los aparatos electrónicos pueden generar grandes cantidades de información, la estadística tiene un papel importante. En un estudio realizado por Laura DuBois (2015), muestra cómo aquellas empresas que tienen un programa de análisis de datos dedicados tienen un ahorro de 9.4M USD en promedio, gracias a las optimizaciones de TI (Tecnología de la información) y servicio al cliente.

7.1.1. Tipos de estadística

Martínez (2019) detalla que anteriormente se consideraba a la estadística únicamente como un método para enlistar las características de los datos, algo que está englobado en las aplicaciones de la Estadística Descriptiva, sin embargo, un uso más real, y ajustado a las nuevas necesidades; es analizar, buscar explicaciones y dar validez a los resultados de distintos estudios; dichas aplicaciones se le atribuyen a la Estadística Analítica también llamada Inferencial por otros autores.

7.1.2. Estadística Descriptiva

La Estadística Descriptiva recoge y organiza los datos, mediante distintas técnicas vuelve más fácil el proceso de análisis; si bien, esta rama no pretende realizar ninguna conclusión ni juicios sobre algunos supuestos, resulta de principal utilidad gracias a la rapidez a la que se puede acceder al comportamiento de los datos, por ejemplo, la media que nos indica cómo se comportan los datos en promedio. De la misma forma existen otras medidas de tendencia central.

7.1.3. Estadística Analítica o Inferencial

El principal objetivo de este tipo de estadística es realizar conclusiones de una población, anteriormente se requería que estas conclusiones fueran estimaciones con base en una muestra representativa de la población, debido a que trabajar con los datos directos de la población en muchos casos es inviable, por el alto costo económico que representa y por el extenso tiempo que le puede tomar a los investigadores la recolección de datos, sin embargo, los equipos de cómputo han facilitado esta labor, debido a que las capacidades de procesamiento han mejorado durante los años, haciendo posible el tratamiento de datos de una población completa.

Existen muchas herramientas, métodos y análisis englobados dentro de la estadística analítica, uno de los más importantes y que serán empleados en esta investigación son los métodos de pronósticos.

7.1.3.1. Pronósticos

Cuando uno se refiere a un pronóstico estadístico, se está refiriendo a una predicción de un evento o al comportamiento de los datos en el futuro; basándose en datos históricos.

Al ser parte de la Estadística Analítica, la interpretación de los resultados juega un rol fundamental, gracias a esto se pueden tomar decisiones; donde en una línea de producción se pueden reducir los costos, o lanzar una campaña de publicidad para la impermeabilización debido a que va a llover mucho, por ejemplo.

7.1.3.1.1. Métodos de pronósticos

De acuerdo con Carvajal (2018), las técnicas de pronóstico se dividen en:

- Métodos Cualitativos (Subjetivos)
- Métodos Cuantitativos
- Métodos Combinados

7.1.3.1.2. Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos se basan en el juicio personal y pueden hacer uso de la intuición, la opinión de un experto y la experiencia. (Carvajal, 2018) Los métodos más conocidos son el de Delphi y Grass Roots.

7.1.3.1.3. Métodos Cuantitativos

Carvajal (2018) describe los métodos cuantitativos, dividiéndolos en tres segmentos, el Análisis de series de tiempo, métodos causales y métodos de simulación.

Para la aplicación de estos métodos se deben validar dos condiciones:

- Debe existir un récord histórico de los datos. Para la aplicación de distintas herramientas es necesario contar con un mínimo de datos, catalogándose, así como: corto, mediano y largo plazo.
- Es razonable asumir que el comportamiento de los datos continuará en el futuro, puesto que no se puede estimar la cantidad de comida que ingiere una especie de animal extinto, por ejemplo.

7.1.3.1.4. Series de tiempo

Hyndman, (2018) afirma que todo aquello que se puede observar una secuencia a lo largo del tiempo se le puede considerar una serie de tiempo. Pero no pueden ser observaciones al azar, deben realizarse en intervalos regulares y de manera sistemática, como por ejemplo el tiempo que toma una persona en la ducha, realizando la observación de manera diaria; los costos de operación de una empresa de manera mensual; o la cantidad de televidentes durante el partido del Superbowl realizado cada año.

Es importante destacar que en las series de tiempo se tomará como unidad el intervalo seleccionado (segundos, minutos, horas, días, meses y otros).

Formalmente se usa la siguiente notación en las series de tiempo:

$$X_1 = x_1, X_2 = x_2, X_3 = x_3, \dots, X_t = x_t \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde se muestra el formato de una variable aleatoria de interés en el tiempo i . Representando los valores que toma la serie de tiempo en el tiempo t , siendo este el tiempo actual.

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}) \quad (\text{Ec. 02})$$

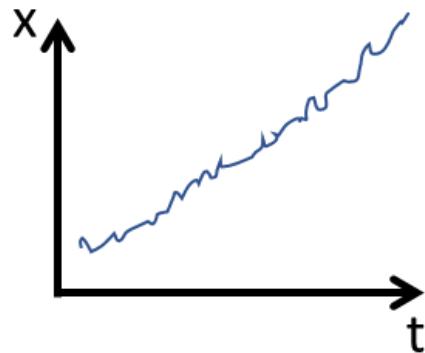
En la ecuación 2, Y_t es el valor de la serie temporal en el período t , de la misma forma, $t-n$ en cada subíndice denota una posición anterior de la serie de tiempo, llegando hasta $t-p$ que representa una variable en el período $t-p$, es decir, con p rezagos.

7.1.3.1.4.1. Patrones o componentes

Carvajal (2018) afirma que se puede descomponer una serie de tiempo y lograr interpretarla más fácilmente considerando: Tendencia, Estacional, Cíclico y Aleatorio.

Una tendencia existe cuando hay un aumento o un decremento en los datos. No necesariamente son lineales y en algunos casos se puede encontrar una tendencia de “cambio de dirección” cuando va de un aumento a un decremento o viceversa. (Hyndman y Athanasopoulos, 2018)

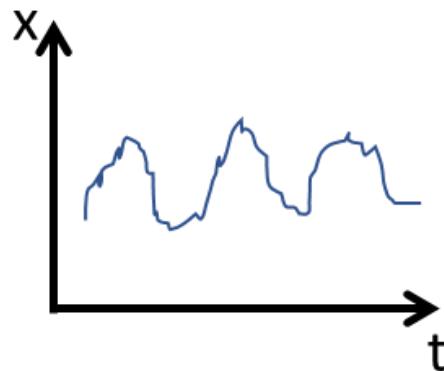
Figura 1. **Serie de tiempo con tendencia lineal**



Fuente: elaboración propia.

Hyndman (2018), afirma que un patrón estacional surge a partir de eventos temporales. Por ejemplo, el aumento de tráfico de datos móviles en época navideña. Y la característica más importante de los patrones estacionales (o la estacionalidad como la llaman otros autores) es que se conoce su frecuencia y esta se cumple en todo el rango de tiempo.

Figura 2. **Serie de tiempo con patrón estacional**

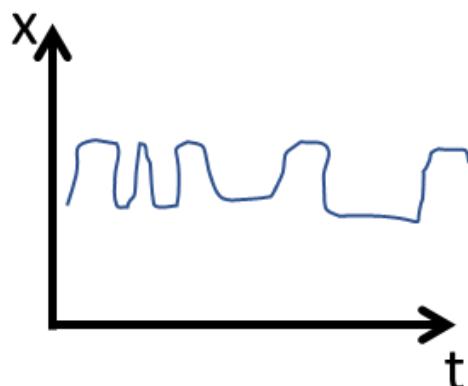


Fuente: elaboración propia.

Un ciclo ocurre cuando los datos muestran aumentos y decrementos sucesivos y recurrentes. (Carvajal, 2018)

Mucha gente confunde el patrón cíclico con el estacionario, pero son distintos, la diferencia más marcada de estos es si sigue o no una frecuencia periódica. Si esta frecuencia no cambia y está relacionada con eventos del calendario es estacionaria.

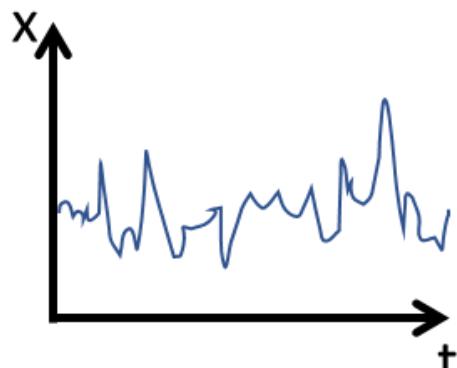
Figura 3. **Serie de tiempo con patrón cíclico**



Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, el patrón aleatorio, como su nombre lo sugiere, no tiene un comportamiento que siga algún orden lógico. Presenta un nivel constante y los valores se mueven aleatoriamente alrededor del promedio.

Figura 4. **Serie de tiempo con patrón aleatorio**



Fuente: elaboración propia.

7.1.3.1.5. Pronóstico ingenuo o Naïve

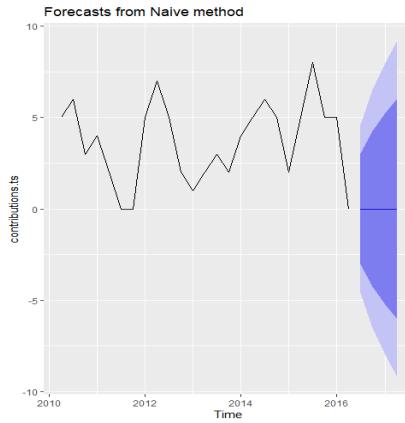
Es el método más simple de pronósticos, está basado en último dato registrado de la serie de tiempo. Villalba (2018) indica que para este pronóstico se presenta una gran cantidad de ruido, por lo que tiene un amplio margen de error. Es por lo que se utiliza como un punto de comparación y poder determinar la validez de otros métodos.

$$\hat{y}_{t+h|T} = y_T \quad (\text{Ec. 03})$$

En la ecuación 3 se observa que todos los valores en el futuro tomarán el mismo valor que el último registro, sin importar cómo fue el comportamiento de los datos ni la tendencia que tenga.

En la figura 5 se puede observar la simpleza de este método, así como también el amplio rango de ruido que presenta y por ende no se recomienda para predicciones, solamente como referencia.

Figura 5. **Pronóstico utilizando el método Naïve**



Fuente: elaboración propia.

7.1.3.1.6. Pronósticos de medias constantes

Este tipo de pronóstico es recomendado cuando las muestras son pocas, sin embargo, Carvajal (2018) también destaca que el uso de este tipo de pronóstico debe hacerse cuando el proceso es muy estable.

La serie sigue el comportamiento detallado por la siguiente ecuación:

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ec. 04})$$

Dónde:

F_{t+1} es el pronóstico para el tiempo $t+1$.

x_i es el valor que toma la variable aleatoria en el período t .

n es el número de datos u observaciones.

7.1.3.1.7. Pronósticos de medias móviles

El método de las medias móviles asigna una ponderación distinta a cada uno de los datos utilizados dentro de la serie de tiempo, por medio de complementos. Carvajal (2018) indica que el método se utiliza cuando los datos antiguos pierden validez e influencia en los valores actuales y por ende en la estimación de un pronóstico.

Este método sigue el comportamiento detallado en la siguiente ecuación:

$$F_{t+1} = \frac{x_{t-n+1} + x_{t-n+2} + \dots + x_t}{n} \quad (\text{Ec. 05})$$

7.1.3.1.8. Regresión lineal simple

La existencia de una relación lineal implica que existe un cambio proporcional constante, a medida que cambia la variable independiente, así mismo cambiará la variable dependiente sigue una determinada proporción en todo el rango de acción.

Los pronósticos hechos con una regresión lineal siguen la ecuación de una línea:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde Y es la variable dependiente, X es sustituido con los valores de la ecuación 1, β_0 es el intercepto con el eje Y ; para el caso de las series de tiempo será en el tiempo 0; y, por último β_1 que es la pendiente o la relación entre las dos variables.

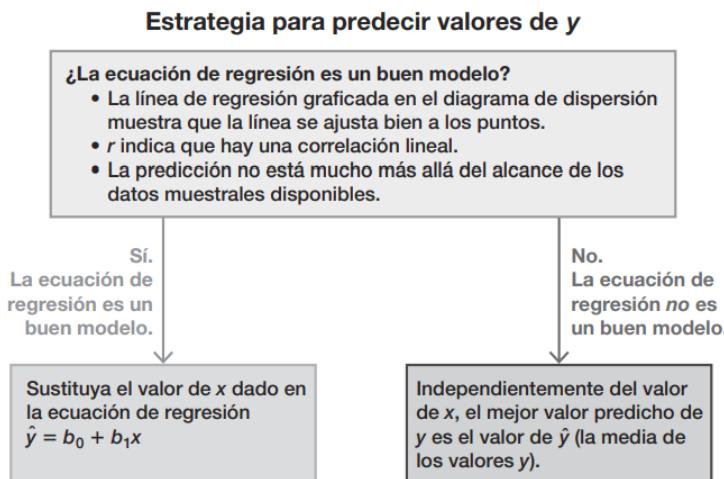
En una regresión lineal simple el objetivo es demostrar que se tiene una relación entre las variables, sin embargo, al trabajar con una regresión lineal simple debe considerarse la coherencia de la vinculación entre variables, tal y como lo hace notar Bacchini (2018), al trabajar con un análisis de regresión se vinculan dos variables cuantitativas. No se puede relacionar variables que no tienen nada que ver entre sí sólo porque los datos con los que contamos pueden hacer suponer una relación lineal. Esa característica no resulta suficiente porque, probablemente, se deba simplemente a la muestra tomada y no a una relación directa entre ellas.

Triola (2018), establece 4 consideraciones para utilizar la regresión lineal como método de predicción:

- **Modelo malo:** Si la ecuación de regresión no parece ser útil para hacer predicciones, no use la ecuación de regresión para realizarlas. Para los malos modelos, el mejor valor predicho de una variable es simplemente su media muestral.
- **Buen modelo:** Utilice la ecuación de regresión para realizar predicciones sólo si la gráfica de la línea de regresión sobre el diagrama de dispersión confirma que la línea de regresión se ajusta razonablemente bien a los puntos.
- **Correlación:** Use la ecuación de regresión para realizar predicciones sólo si el coeficiente de correlación lineal r indica que existe una correlación lineal entre las dos variables.
- **Alcance:** Utilice la línea de regresión para realizar predicciones sólo si los datos no van más allá del alcance de los datos muestrales disponibles. (La

predicción fuera del alcance de los datos muestrales disponibles se llama extrapolación, y podría dar lugar a predicciones erróneas).

Figura 6. **Estrategia en la predicción valores de “y”**



Fuente: Triola (2018). *Estadística*.

7.2. Industria de telecomunicaciones

A todas aquellas transmisiones de información a distancia se le denomina “telecomunicaciones”. Y es que en el mundo moderno en el que vivimos está presente en todas partes, llega a ser muy amplia la definición y difícil de comprender. Desde la transmisión de televisión por aire, aplicaciones meteorológicas, radionavegación, aplicaciones de telefonía y los novedosos sistemas de comunicación satelital, forman parte del amplio espectro de las telecomunicaciones.

Al tener tantas aplicaciones y tantas subdivisiones es imperativo que existan entes reguladores que estandaricen y regulen los significados, protocolos y lineamientos generales que deben ser seguidos. Guatemala, tal y como lo

indica el Decreto 94-96 en su artículo 4, está sujeto a las definiciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

7.2.1. Elementos principales

A continuación, se presentan los elementos principales que forman parte de las telecomunicaciones.

7.2.1.1. Telefonía celular

Se entiende por telefonía celular a todas aquellas tecnologías relacionadas con la propagación y recepción de ondas electromagnéticas para la transmisión de información. Una característica importante es que estos no están conectados físicamente mediante cables o fibra óptica, la propagación de estas ondas se produce a través del aire. Se realiza una subdivisión por sectores, para que los teléfonos que estén en rango no saturen un mismo sitio, dicha subdivisión se le conoce como “celdas” y a los teléfonos móviles como “celular”.

7.2.1.2. Antenas

Estos son dispositivos especializados que se utilizan para la propagación y recepción de ondas electromagnéticas por medio de un espacio libre.

Al existir múltiples utilidades para las antenas, deben existir múltiples tipos de estas y distintas formas en las que se puede configurar; no es objetivo de este estudio definir todas las características de una antena, por lo que algunas de las características más importantes son: frecuencia de operación, patrón de radiación y polarización.

Se puede conocer qué tipo de antena se tiene si se conocen todas las características de esta o viceversa, en el caso de la telefonía móvil las más utilizadas son las antenas tipo parche y las sectoriales.

7.2.1.2.1. Características de una antena

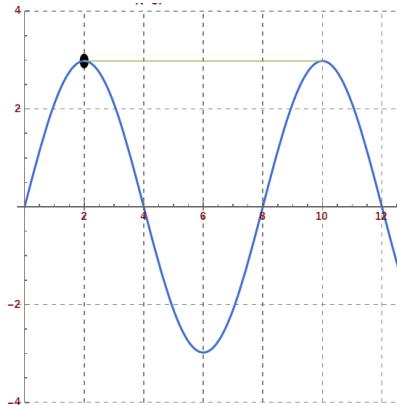
A continuación, se presentan las principales características de una antena.

7.2.1.2.1.1. Frecuencias de operación

Todos los tipos de antena están diseñados para obtener el máximo rendimiento de una frecuencia en específico. De esta forma se evita la sobre excitación que pueda tener un receptor al captar frecuencias que no serán de utilidad.

Junto con la frecuencia de operación existe un concepto fuertemente vinculado, como lo es la longitud de onda (representado con la letra griega λ), es la distancia que recorre una onda senoidal con una determinada amplitud y fase; hasta llegar de nuevo a esa misma amplitud y fase. Por lo general se utilizan las crestas de la onda como punto de referencia, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 7. **Ejemplo de longitud de onda**



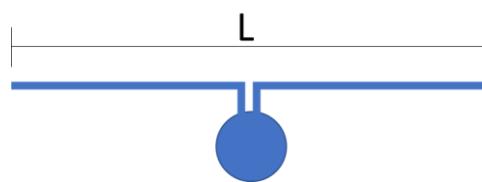
Fuente: elaboración propia, usando Wólfram.

Las ondas electromagnéticas al propagarse a la velocidad de la luz es posible saber cuál es la longitud de onda de estas:

$$C = f_{antena} * \lambda_{antena} \text{ (Ec. 07)}$$

Tomando como ejemplo el dipolo que es el tipo de antena más simple sabremos la frecuencia de operación de la antena al conocer la longitud del dipolo.

Figura 8. **Longitud de la antena dipolo**



Fuente: elaboración propia.

Para una transmisión perfecta L debe ser igual a la mitad de la longitud de onda.

En este apartado es oportuno destacar que mucha gente confunde la quinta generación de tecnologías con las frecuencias de 5GHz. Es un error muy común puesto que la mayoría de los usuarios tienen como referencia las frecuencias de operación WiFi, tal y como lo muestra Intel (2021), en la comparativa de protocolos WiFi y velocidades de datos, donde se tienen frecuencias de operación de 2.4GHz o 5GHz.

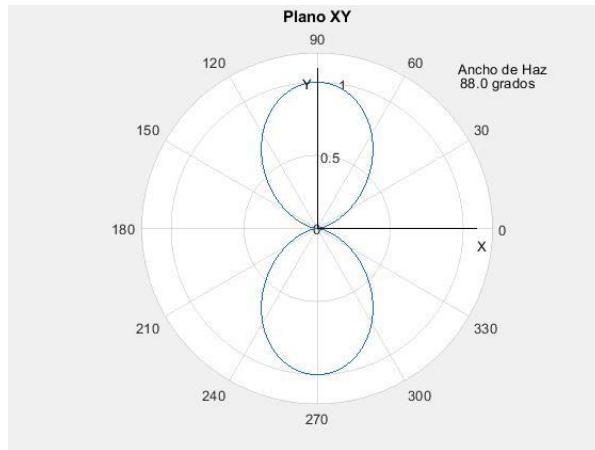
Las frecuencias de operación recomendadas por la GSMA son: por debajo de 1GHz, entre 1-6GHz y por encima de 6GHz. (GSMA, 2019) Esto porque se espera que la implementación de 5G tenga múltiples aplicaciones por medio de la técnica *slicing*.

En Guatemala las frecuencias de operación están reguladas por la SIT, y son dadas a los operadores de telefonía en calidad de usufructo, como lo indica la ley 94-96 en su artículo 58. (SIT, 2004) Claro es la empresa que más espectro posee, reportando actividad en las frecuencias de 900MHz y 1.9GHz, mientras que tigo solamente en las frecuencias de 850MHz. (SIT, 2020).

7.2.1.2.1.2. Patrón de radiación

El patrón de radiación indica en qué direcciones está emitiendo ondas electromagnéticas una antena, la cobertura que pueda tener y el alcance de esta. Es una ayuda visual muy efectiva para comprender de una forma más rápida el comportamiento de las ondas electromagnéticas.

Figura 9. **Patrón de radiación de una antena dipolo**



Fuente: Corral (2021). *Radiación de Espira y Dipolo*.

7.2.1.2.1.3. Polarización de la antena

La polarización establece la dirección hacia la que el campo eléctrico está orientado. En general se toman dos tipos de polarizaciones, la polarización lineal; donde el eje de acción del campo eléctrico es el mismo plano que establece la antena. Derivado de esto tenemos la polarización vertical y la polarización horizontal, se puede utilizar un punto medio entre estos, pero es más difícil de calibrar y los costos de implementación suben para obtener la máxima potencia.

Para simplificar se considera una onda que se propaga en el eje z, pero el campo eléctrico oscila en el eje x (polarización horizontal), se comporta de la siguiente forma:

$$\vec{E}_x(z, t) = \hat{i}E_{0x} \cos(kz - \omega t) \quad (\text{Ec. 08})$$

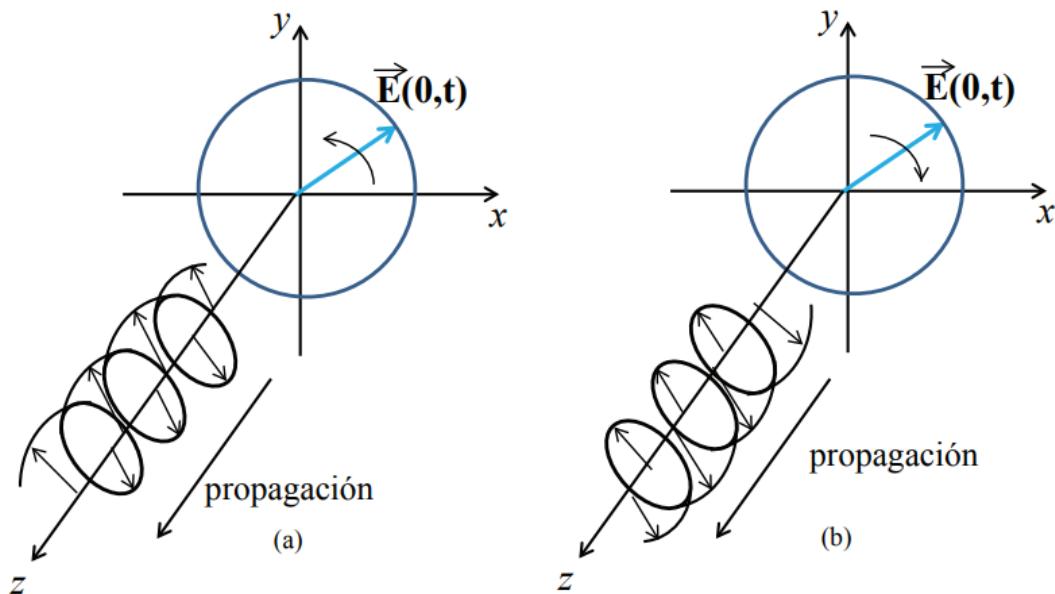
El otro tipo de polarización es el circular, en el cual, el campo eléctrico está en constante rotación y la amplitud es constante.

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \left(\hat{x} \cos(\omega t - k_0 z) + \hat{y} \cos(\omega t - k_0 z - \frac{\pi}{2}) \right) \text{ (Ec. 09)}$$

Donde ωt indica el sentido en el que gira el campo eléctrico. Y por medio de la regla de la mano derecha se puede conocer el sentido de su propagación, pudiendo ser polarizada circularmente a la derecha (RHCP) o polarizada circularmente a la izquierda (LHCP). (Ramírez, 2013)

La polarización de una antena es importante porque es otro limitante físico que permite detectar solamente las ondas que estén alineadas con la polarización. Este parámetro tiene especial importancia en el mundo moderno porque ya no se debe cubrir únicamente el espacio sobre el suelo, sino que los edificios generan que también se tenga que cubrir zonas a mayor altura.

Figura 10. (a) RHCP (b) LHCP



Fuente: Ramírez (2013). *Antenas microstrip con polarización circular para sistemas de posicionamiento por satélite y aplicaciones RFID.*

7.2.1.3. Core

En las topologías de red de telecomunicaciones se le denomina “Core” al segmento que interconecta todos los nodos. Todos los puntos de acceso, tanto móviles (RAN – Radio Access Network) como fijos se dirigen al core y es desde aquí donde se redirige una llamada al destino, donde se conecta con el proveedor de servicio web al que se quiere ingresar, entre otras funciones.

En la telefonía móvil existe un sinfín de aplicaciones, servicios y funciones que son ejecutados por distintos elementos de red para una mejor experiencia de usuario y un uso óptimo de los servicios computacionales. Esta parte de la red puede subdividirse en dos grandes ramas, el Circuit Switching y el Packet Switching.

7.2.1.3.1. Circuit Switching (CS)

Este segmento de la red es utilizado en su mayoría para la transmisión de llamadas de voz, debe su nombre puesto que en las primeras generaciones era necesario que un operario conectaría manualmente a la línea que se quería realizar la llamada. Actualmente un elemento de red conocido como Mobile Switching Center (MSC) es el encargado de enrutar las llamadas.

Dentro del este segmento de red también se realiza el almacenamiento de los datos de los usuarios, donde el Home Location Register (HLR) contiene la información necesaria para la autenticación de los usuarios locales, es decir, los usuarios que pertenecen al país; para todos aquellos usuarios que estén realizando llamadas por medio de Roaming sus datos se almacenan en un elemento llamado Visitor Location Register (VLR).

7.2.1.3.2. Packet Switching (PS)

El Packet Switching o core de paquetes como se le conoce a este segmento de la red es el que más ha tenido auge en los últimos años, desde la introducción de los smartphones que permiten la navegación por internet, todos estos datos circulan a través del core de paquetes. Durante las distintas generaciones se han agregado elementos a este segmento que permiten una optimización en cuanto a las comunicaciones y por ende en transmisiones más rápidas.

La importancia de todos los nodos que conforman este segmento es el establecimiento de un canal de comunicación rápido hacia una red externa.

7.2.1.4. Tecnologías

A continuación, se presentan las generaciones de telefonía móvil que han formado parte de las tecnologías.

7.2.1.4.1. Primera generación

La primera generación de telefonía móvil se utilizaba únicamente para llamadas, se diferencia del resto de generaciones puesto que es la única en donde los sistemas eran analógicos.

7.2.1.4.2. Segunda generación

La segunda generación de telefonía móvil comienza con los sistemas digitales. Gracias a esto es que los costos se pudieran reducir y fuera accesible para más personas. Al tener más gente conectada era necesario idear nuevos

métodos para evitar la interferencia en las comunicaciones, por lo que se comienza a emplear métodos de multiplexación: TDMA (*Time Division Multiple Access*) y FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

De acuerdo con Patel (2018), debido a la gran demanda que se tuvo en el sistema, el GPRS (*General Packet Radio Service*) y el EDGE (*Enhanced Data GSM Environment*) actuaron de pasos intermedios, conocidos como 2.5G. Estos sistemas aumentaron la capacidad de transmisión hasta 150kbps y 384kbps respectivamente.

El gran atributo de GPRS es que introduce dos nuevos nodos a la red SGSN (*Serving GPRS Support Node*) y GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) para el tráfico de paquetes. Hasta en las generaciones nuevas estos nodos se siguen utilizando.

Con EDGE, nuevas modulaciones son integradas; permitiendo una mejora significativa en la utilización de los recursos.

7.2.1.4.3. Tercera generación

La tercera generación de tecnologías móviles surge a partir de la publicación del estándar IMT-2000 por parte de la ITU. Las características destacables de esta generación es que comienza a emplearse nuevos métodos de multiplexación, Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD).

Es en esta generación donde el core es híbrido, tiene CS y PS conviviendo. Puede brindarles a los usuarios experiencias a través de internet

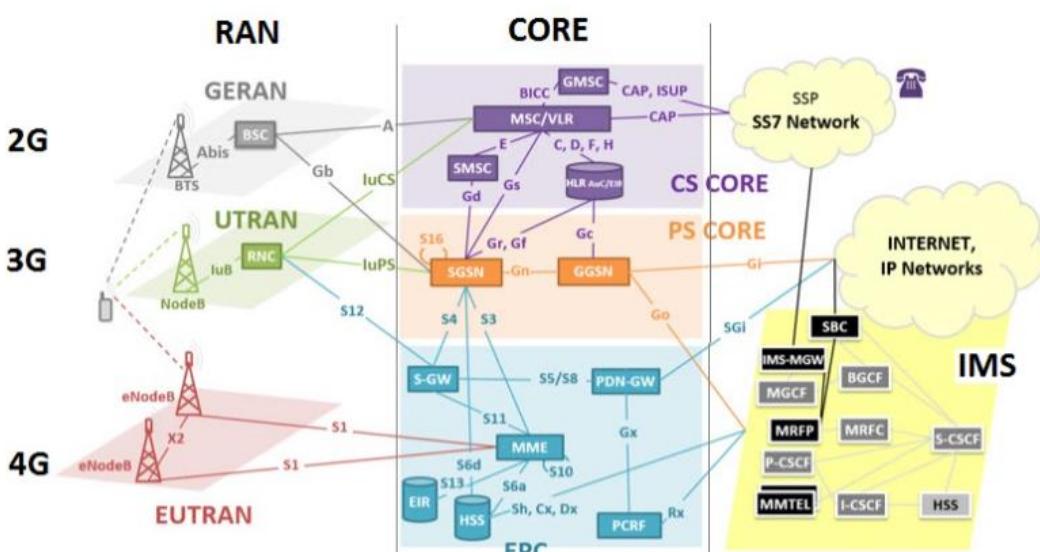
móvil. Las velocidades de transmisión también son mejoradas, pudiendo alcanzar los 42 Mbps. (Patel *et.al.*, 2018)

7.2.1.4.4. Cuarta generación

La cuarta generación también conocida como Long Term Evolution (LTE) representó un cambio radical en cuanto a la tendencia de las anteriores generaciones, basando el core en un modelo IP, pudiendo ganar en tiempos de latencia. Se estandariza el plano de usuario y plano de control, donde la información únicamente es procesada dependiendo del plano al que pertenezca. La velocidad en esta generación mejora considerablemente, teniendo como máximo los 100 Mbps y 1Gbps en entornos ideales.

En esta generación además se presenta el primer método de llamadas de voz sobre el paquete de datos, como lo es VoLTE (Voice over LTE).

Figura 11. Arquitectura de telefonía móvil



Fuente: Apablaza (2017). *Estudio Y Simulación De Cobertura VoLTE Mediante Diseño de Link Budget Para Red 4G LTE de ENTEL en Santiago*.

7.2.1.4.5. Quinta generación

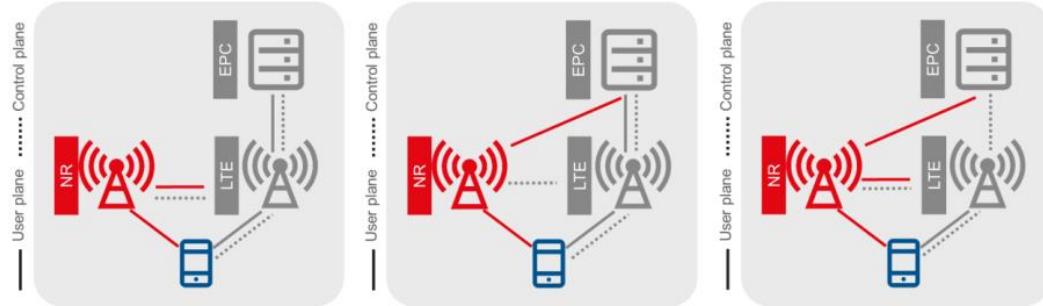
Finalmente, la 5^a generación de telefonía móvil representa la separación del plano de control y plano de usuario por completo. Pude generar velocidades muchísimo más altas llegando a 10 Gbps.

Al considerar el número de usuarios conectados, existe una gran demanda de servicios, muchas de las aplicaciones que se corren hoy en día necesitan un ancho de banda mayor para poder brindar la mejor experiencia de usuario posible. LTE es una tecnología que no puede soportar con todas las aplicaciones y demandas que se tienen hoy en día en el servicio de telefonía móvil.

Para entender de mejor forma el 5G se deben mencionar los conceptos NSA (Non-stand alone) y SA (Stand Alone), que hacen referencia a como está construida la red. Y es que el objetivo de muchos operadores es poder tener un despliegue rápido de estas tecnologías sin que sus servicios anteriores se vean afectados. Es por ello por lo que existen una serie de opciones de poder desplegar 5G NSA para reducir los costos de operación y de planificación que le puedan representar a los operadores. Al referirse a NSA quiere decir que es una red que está conviviendo con la red de 4G.

Las opciones de inicio para desplegar 5G NSA son las opciones 3, 3a y 3x.

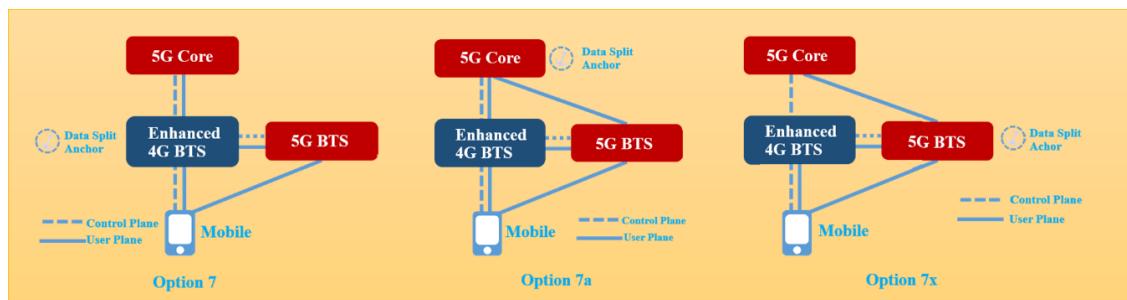
Figura 12. 5G NSA Opción 3, 3a y 3x



Fuente: GSMA (2020). *Espectro 5G Posición de políutica pública de la GSMA*.

En estas opciones se continua la dependencia del core de paquetes de cuarta generación, pero con un acceso móvil por medio de NR (New Radio). Este sistema permite comenzar a utilizar frecuencias propias de 5G, mejora en la velocidad por tener un sistema propio de control y otro distinto del plano de usuario.

Figura 13. 5G NSA Opción 7, 7a y 7x

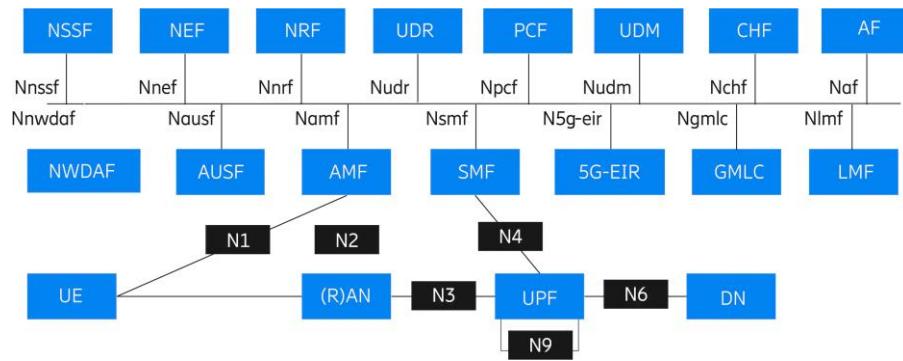


Fuente: Hocell (2022) *Implementación de un core*.

En estas opciones se acerca más a 5G SA, se comienza la implementación de un core de paquetes de 5G, aunque aún existe dependencia en el acceso puesto que las antenas de LTE se siguen utilizando. El core de

quinta generación (5GC) se caracteriza porque está dividido por aplicaciones, cada nodo realiza una función, reduce la latencia y optimiza los recursos.

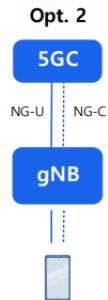
Figura 14. 5GC



Fuente: Ericsson (2022). *Five ways to a better 5G*.

El objetivo de la implementación de redes 5G es que esta pueda actuar por cuenta propia, sin dependencias de tecnologías legadas. Es con esta topología con la que se puede obtener la segmentación de la red (*network slicing*); con esto se refiere a que distintos aplicativos ocuparán distintos segmentos dentro de la red, y por ende utilizarán distintas frecuencias, esto es especialmente útil para no saturar las frecuencias de operación de los teléfonos con elementos que no requieren tanto ancho de banda como lo son las aplicaciones de IoT (*Internet of things*); *enhanced Mobile BroadBand* (eMBB), y la que es probablemente la función de 5G más importante de todas, *Ultra-Reliable Low-Latency Communication* (URLLC).

Figura 15. **5G SA**



Fuente: Samsung (2021). *5G Standalone Architecture*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN MARCO REFERENCIAL

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Estadística

1.1.1 Tipos de estadística

1.1.2 Estadística Descriptiva

1.1.3 Estadística Analítica o Inferencial

1.1.3.1 Pronósticos

1.1.3.1.1 Métodos de pronósticos

1.1.3.1.2 Métodos Cualitativos

1.1.3.1.3 Métodos Cuantitativos

1.1.3.1.4 Series de tiempo

1.1.3.1.4.1 Patrones o
componentes

1.1.3.1.5 Pronóstico ingenuo o Naïve

1.1.3.1.6 Pronóstico de medias
constantes

1.1.3.1.7 Pronóstico de medias móviles

- 1.1.3.1.8 Regresión lineal simple
- 1.2 Industria de Telecomunicaciones
 - 1.2.1 Elementos principales
 - 1.2.1.1 Telefonía Celular
 - 1.2.1.2 Antenas
 - 1.2.1.2.1 Características de una antena
 - 1.2.1.2.1.1 Frecuencias de operación
 - 1.2.1.2.1.2 Patrón de radiación
 - 1.2.1.2.1.3 Polarización de la antena
 - 1.2.1.3 Core
 - 1.2.1.3.1 Circuit Switching (CS)
 - 1.2.1.3.2 Packet Switching (PS)
 - 1.2.1.4 Tecnologías
 - 1.2.1.4.1 1ra Generación
 - 1.2.1.4.2 2da Generación
 - 1.2.1.4.3 3ra Generación
 - 1.2.1.4.4 5ta Generación

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se analizará el comportamiento de la demanda de servicios 5G de telefonía móvil en el territorio guatemalteco.

El diseño adoptado será no experimental (observacional), debido a que se trabajará con base en datos históricos y no se realizará ninguna manipulación en las variables; además será transversal, ya que únicamente se analizarán datos anteriores al inicio de la investigación, es decir, todos los datos de usuarios 5G en Guatemala durante el período que dure la investigación no serán tomados en cuenta para la proyección.

El alcance de la investigación propuesta se puede catalogar como descriptivo, exploratorio y correlacional. Se cumplen las características descriptivas debido a que se analizarán las características de la red de telecomunicaciones actual. Exploratorio, debido a que la implementación de redes 5G es relativamente nueva y en un país como Guatemala es novedoso, por lo que el análisis se considera exploratorio. Por otra parte, también se cumple con las características de ser un estudio con alcance correlacional porque se evaluará la influencia de distintos factores sobre el impacto que tenga la adopción de tecnologías de quinta generación.

9.2. Unidades de análisis

La población de estudio será el conjunto de los usuarios, tráfico generado y cobertura de la red móvil de Guatemala durante el período comprendido entre 2014 y 2021. Dichos datos se extraerán del reporte anual *Mobile Connectivity Index* de la empresa GSMA. Cabe destacar que la base de datos entrega un resultado poblacional, por lo que en este apartado no se realizará un muestreo.

9.3. Operativización de variables

En la siguiente tabla se presenta la operativización de variables.

Tabla I. Operativización de variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Velocidad de transmisión (DL - UL)	La velocidad de transmisión puede ser UL (<i>Up Link</i>) o DL (<i>Down Link</i>) refiriéndose a si es un envío o recepción de datos.	Se utilizará una base de datos. Se mide en Megabits por segundo (Mbps) y es una variable continua.
Latencia	El término de latencia hace referencia al retardo o demora en la propagación y transmisión de paquetes. Es decir, cuánto tarda la información en llegar del punto A al punto B.	Se utilizará una base de datos. Se mide en milisegundos (ms) y es una variable continua.
Cobertura	La cobertura hace referencia a las áreas donde se tiene acceso a la red móvil. Esta medida toma en cuenta únicamente superficies sobre la tierra, es decir, todos los edificios, sótanos o alguna otra infraestructura no es tomada en cuenta.	Se utilizará una base de datos. Su base es en porcentaje respecto a la superficie total del país.

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

La investigación se plantea el análisis de las variables involucradas, tomando un proceso descrito por las siguientes fases:

Fase 1. Revisión de información documental

En esta fase se buscará la bibliografía que fundamentará los temas que se analizarán en esta investigación; siendo intereses prioritarios los pronósticos por series de tiempo, pronósticos por regresión lineal y telefonía celular.

Fase 2. Recolección de base de datos

En esta fase se obtendrán los últimos datos actualizados por la GSMA y la SIT, relacionados a la telefonía celular en Guatemala y otros países de América Latina donde ya se haya desplegado 5G.

Fase 3. Análisis de resultados

Se realizará un análisis de los hallazgos obtenidos en la fase 2. Primeramente, se realizará un muestreo estratificado para estimar la penetración móvil en áreas rurales. Seguidamente se trabajará en una comparativa de medias para los promedios de tráfico generados por tecnologías 4G y 5G; para finalmente elaborar un modelo de predicción implementando distintas técnicas como el suavizado exponencial, método ingenuo, regresión lineal y validando cuál es el mejor de estos.

Fase 4. Redacción de informe final

Se redactará un informe donde se detallen los resultados alcanzados, las conclusiones para los supuestos estadísticos y las recomendaciones para futuras investigaciones.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se detallan las técnicas a utilizar para llevar a cabo el estudio de investigación:

- Paquetes de software

Se empleará el software de ofimática Microsoft Excel para el filtrado y depuración de datos; el software dedicado de estadística R Studio (implementando el lenguaje de programación R), para el tratamiento de los datos y el software dedicado de estadística Jamovi para la presentación de gráficos.

- Pruebas de bondad de ajuste

Se empleará una prueba Kolmogorov-Smirnov, que brinda un estadístico que contrasta la normalidad de los datos. Así mismo, en caso de que los datos no se ajusten a la campana de Gauss, se realizará una prueba de Anderson-Darling para verificar la distribución correcta de los datos.

- Prueba Box-Jenkins

Se empleará esta prueba para indicar el ajuste de la serie de tiempo y poder determinar la validez de esta.

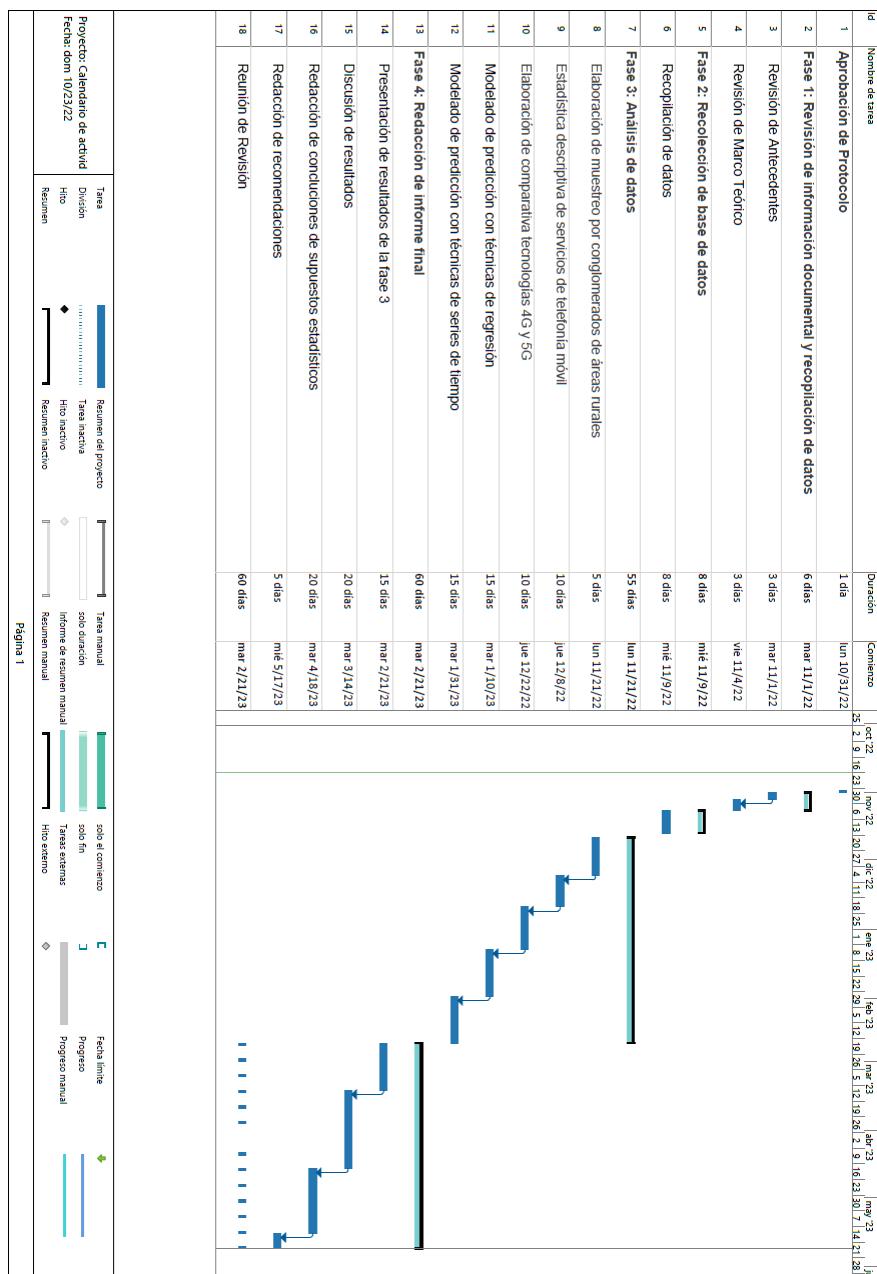
- Gráficos estadísticos

Se presentarán distintos modelos de predicción mediante gráficos de dispersión, así como comparativas de medias, descomposición de series de tiempo y gráficos de normalidad.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se detalla el cronograma de trabajo para la ejecución del estudio a desarrollar.

Figura 16. Cronograma de la investigación



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recurso humano

Para la elaboración de la investigación propuesta se tomará en cuenta al investigador. El mismo es el encargado de la ejecución de cada fase descrita en el capítulo 9, Metodología.

Así mismo también se considera dentro de los recursos humanos un ingeniero en electrónica y un licenciado en pedagogía; son estos el asesor y co-asesor respectivamente.

12.2. Recursos tecnológicos

Se consideran recursos tecnológicos a los software, hardware y servicios necesarios para la elaboración de esta investigación.

Los softwares estadísticos mencionados en el capítulo 10 Técnicas De Análisis De Información son utilizados en su versión gratuita. Es decir, no representan un costo para la elaboración de la investigación; sin embargo, el software Microsoft Project, empleado para la elaboración del cronograma de actividades tiene un costo de USD 30.00.

Dentro de la categoría de hardware, se considera la computadora, monitor e impresora, donde serán únicamente tomados en cuenta costos por depreciación dado que el investigador cuenta con estos elementos.

12.3. Acceso a información y permisos

Para la elaboración de la investigación propuesta, se debe pagar una aplicación de recopilación de información, que servirá de complemento a la base de datos principal de la investigación.

12.4. Recursos complementarios

Dentro de los recursos que no están englobados en las otras categorías se deben enlistar los servicios necesarios, dentro de los cuales serán incluidos los costos de electricidad e internet residencial.

Además, también se debe mencionar todos aquellos recursos de oficina que se emplearán para la presentación de la investigación; los cuales incluye papel para las impresiones necesarias, tóner de impresora y CD para la entrega digital.

12.5. Recursos financieros

En esta sección se describen los costos que representará la elaboración de la investigación propuesta, cabe destacar que el costo total será cubierto por el investigador y no recibirá ningún financiamiento externo en forma de donaciones o incentivos.

Tabla II. **Presupuesto**

No.	Elemento	Costo Unitario	Cantidad necesaria	Costo Total
1	Sueldo del investigador durante 6 meses.	Q. 20,000.00	1	Q. 20,000.00
2	Licencia de Microsoft Project	Q. 235.00	1	Q. 235.00
3	Depreciación equipo de cómputo	Q. 250.00	1	Q. 250.00
4	Aplicación de recolección de información.	Q. 35.00	1	Q. 35.00
5	Servicios de electricidad e internet residencial.	Q. 250.00	6	Q. 1,500.00
6	Resma de papel y tóner de impresora.	Q. 700.00	2	Q. 1,400.00
8	Consultoría del Asesor y Co-Asesor durante 6 meses.	Q. 0.00	2	Q. 0.00
10	Imprevistos y costos adicionales.	Q. 35.00	1	Q. 580.00
				Total Q. 24,000.00

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Agencia Española de Protección de Datos. (2020). *Introducción a las Tecnologías 5G y sus riesgos para la privacidad*. Madrid: AEPD. Recuperado de <https://www.aepd.es/sites/default/files/2020-06/nota-tecnica-privacidad-5g.pdf>
2. Anaya, F. (2018). *Vehículos eléctricos en Guatemala Análisis de impacto y propuesta de implementación*. Guatemala: Organización Latinoamericana de Energía, Guatemala. Recuperado de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0413.pdf>
3. Apablaza, A. (2017). *Estudio Y Simulación De Cobertura VoLTE Mediante Diseño de Link Budget Para Red 4G LTE de ENTEL en Santiago*. Santiago, de Chile: Docplayer. Recuperado de <https://docplayer.es/88562643-Universidad-de-chile-facultad-de-ciencias-fisicas-y-matematicas-departamento-de-ingenieria-electrica.html>
4. Arias, F. et al., (25 de noviembre 2021). 5G technology deployment in Latin America: An analysis of public policy and regulation environment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. Recuperado de [doi:https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.3.0457](https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.3.0457)
5. Bacchini, R. (2018). *Introducción a la probabilidad y la estadística*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires. Argentina. Recuperado de http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/libros/Bacchini_Introduccion-a-la-probabilidad-y-a-la-estadistica-2018.pdf

6. Banco Mundial. (2021). *Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)*. Whasington, Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
7. Barbero, J. A. (2019). Infraestructura en el desarrollo de América Latina. Venezuela: - IDEAL. Recuperado de https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1465/IDEAL_2017-2018_Infraestructura_en_el_Desarrollo_de_América_Latina_%28documento_principal%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y
8. Carvajal, A. (2018). *Introducción a los pronósticos utilizando Excel*. Bogotá: Ediciones USTA. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13095/USTA-PRONOSTICOS.pdf>
9. Corral, J. (2021). *Radiación de Espira y Dipolo*. España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperaso de <https://riunet.upv.es/handle/10251/170188>
10. DuBois, L. (7 de agosto 2015). *Mining for Insight: Rediscovering the Data Archive*. Docplayer. Recuperado de <https://docplayer.net/8758570-Mining-for-insight-rediscovering-the-data-archive.html>
11. Ericsson. (10 de diciembre 2021). *Five ways to a better 5G*. ESSENTRA. Recuperado de <https://www.essentracomponents.com/en-us/news/guides/five-major-challenges-of-5g-deployment>

12. Essentra Components. (10 de diciembre de 2021). *Five major challenges of 5G deployment.* ESSENTRA. Recuperado de <https://www.essentracomponents.com/en-us/news/guides/five-major-challenges-of-5g-deployment>
13. GSMA. (3 de octubre 2019). *Espectro 5G Posición de políutica pública de la GSMA.* GSMA. Recuperado de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/10/5G-Spectrum-Positions-SPA.pdf>
14. GSMA. (18 de febrero 2021). *La Economía Móvil en América Latina 2021.* GSMA. Recuperado de https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/11/GSMA_ME_LATAM_2021_SPA.pdf
15. Hyndman, R., y Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice.* Australia: OTEXTS. Recuperado de <https://otexts.com/fpp2/>
16. Intel. (2 de julio 2021). *Diferentes protocolos de Wi-Fi y velocidades de datos.* Intel. Recuperado de <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/articles/000005725/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>
17. Jahng, J., y Seung, P. (2019). *Simulation-based prediction of 5G mobile adoption.* Korea: The Korean Institute of Communications and Information Sciences. Recuperado de doi:<https://doi.org/10.1016/j.icte.2019.10.002>
18. Martínez, C. (2019). *Estadística Básica Aplicada.* Bogotá: Ecoe Ediciones Limitada.

19. Moreira, E. W., y Zambrano, Y. L. (2022). *Propuesta para la adopción de la Tecnología 5G en El Cantón Bolívar*. (Tesis Magister). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1684/1/TTMTI04D.pdf>
20. Patel, B. et al., (marzo 2018). Comparative Study of 2G, 3G and 4G. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 3 (3). 245-330 Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Sagarkumar-Patel-5/publication/327763959_Comparative_Study_of_2G_3G_and_4G/links/5ba3188345851574f7d80cf2/Comparative-Study-of-2G-3G-and-4G.pdf
21. Pérez Martín, D. (2018). *Despliegue de redes 5G para Movistar*. (Tesis de licenciatura). Universidad Carlos III de Madrid. España. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Diego-Perez-Martin/publication/336554670_Despliegue_de_redes_5G_para_Movistar/links/5da5afec45851553ff9342b2/Despliegue-de-redes-5G-para-Movistar.pdf
22. Ramírez, M. (2013). *Antenas microstrip con polarización circular para sistemas de posicionamiento por satélite y aplicaciones RFID*. (Tesis de licenciatura). Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2013/hdl_10803_125904/mra1de1.pdf
23. Samsung. (enero 2021). 5G Standalone Architecture. *Thecnical White Paper*. 3 (4), 19-22 Recuperado de <https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/business/>

- networks/insights/white-papers/0107_5g-standalone-architecture/5G_SA_Architecture_Technical_White_Paper_Public.pdf
24. Silva-Atencio, G. (2022). *Retos y oportunidades en la implementación de la tecnología de 5G en tiempos de pandemia*. (Tesis de licenciatura). Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología. San Jose de Costa Rica. Recuperado de <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.6068>
 25. Triola, M. (2018). *Estadística*. Ciudad de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V. Recuperado de <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0038.pdf>
 26. Villalba, F. (2018). *Aprendizaje Supervisado en R*. Cieza, España: Fervilber. Recuperado de <https://fervilber.github.io/Aprendizaje-supervisado-en-R/>

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

ELEMENTOS	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS	Metodología
GENERAL O CENTRAL	Se desconoce el impacto de la adopción de tecnologías 5G en la telefonía móvil de Guatemala.	¿Cuáles son los efectos económicos sobre los operadores y los potenciales usuarios de 5G en Guatemala?	Elaboración de un modelo de proyección con series de tiempo y análisis de regresión, sobre la adopción de tecnologías 5G en la telefonía móvil de Guatemala	Regresión multivariada, anamorfosis, validación de modelos, inferencias poblacionales.	<p>El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se analizará el comportamiento de la demanda de servicios 5G de telefonía móvil en el territorio guatemalteco.</p> <p>El diseño adoptado será no experimental (observacional), debido a que se trabajará con bases de datos históricas y no se realizará ninguna manipulación en las variables; además será transversal, ya que únicamente se analizarán datos anteriores al inicio de la investigación, es decir, todos los datos de usuarios 5G en Guatemala durante el período que dure la investigación no serán tomados en cuenta para la proyección.</p>
ESPECÍFICOS O AUXILIARES	01. Se desconoce el nivel de penetración (porcentaje de población utilizando servicios móviles) e influencia que tienen los operadores de telefonía móvil en zonas rurales de Guatemala.	01. ¿Qué grado de penetración en cuanto a telefonía móvil, presentan los operadores de teléfono en áreas rurales de Guatemala?	01. Estimar el grado de penetración de telefonía móvil en áreas rurales de Guatemala, contrastando la densidad poblacional con zonas registradas con cobertura; mediante el muestreo estratificado y estadística descriptiva para ampliar la estimación	Muestreo por conglomerados, estimaciones poblacionales, estadística descriptiva, correlación lineal simple.	<p>El diseño adoptado será no experimental (observacional), debido a que se trabajará con bases de datos históricas y no se realizará ninguna manipulación en las variables; además será transversal, ya que únicamente se analizarán datos anteriores al inicio de la investigación, es decir, todos los datos de usuarios 5G en Guatemala durante el período que dure la investigación no serán tomados en cuenta para la proyección.</p>

Continuación apéndice 1.

			relacionada a los costos de sitios en áreas rurales.		El alcance de la investigación propuesta se puede catalogar como descriptivo, exploratorio y correlacional. Se cumplen las características descriptivas debido a que se analizarán las características de la red de telecomunicaciones actual. Exploratorio, debido a que la implementación de redes 5G es relativamente nueva y en un país como Guatemala es novedoso, por lo que el análisis se considera exploratorio. Por otra parte, también se cumple con las características de ser un estudio con alcance correlacional porque se evaluará la influencia de distintos factores sobre el impacto que tenga la adopción de tecnologías de quinta generación. La población de estudio será los usuarios, tráfico
02. Se desconoce si existen diferencias significativas entre 4G y 5G respecto a velocidad real, infraestructura y oferta de terminales en el mercado.	02. ¿Cuál es la diferencia entre 4G y 5G respecto a velocidad real, infraestructura y ofertas de terminales en el mercado?	02. Estimar las diferencias entre tecnologías de 4ta y 5ta generación; respecto a velocidad real, infraestructura y oferta de terminales en el mercado; utilizando intervalo de confianza para brindarle al usuario final una mejor idea de los costos y el retorno que pueda tener al cambiar de terminal móvil.	Intervalos de confianza, pruebas de hipótesis para diferencia de medias.		
03. Se desconoce la demanda a nivel de usuarios 5G para Guatemala.	03. ¿Cuánta demanda a nivel de usuarios 5G se puede predecir para Guatemala?	03. Predecir la demanda a nivel de usuarios 5G para Guatemala, a través de un modelo que tome en cuenta información pasada y de otros países;	Análisis de regresión múltiple, validación de modelos - (análisis de series temporales).		

Continuación apéndice 1.

			para relacionar los costos, retorno y cantidad de equipo necesario para la cobertura.		generado y cobertura de la red móvil de Guatemala durante el período comprendido entre 2014 y 2021.
--	--	--	---	--	---

Fuente: elaboración propia.