

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO DE UNA UPF 5G VIRTUALIZADA EN UN ENTORNO
DE CLOUD COMPUTING**

POSTULANTE: FREDDY ALEJANDRO ORTIZ MUEZA

TUTOR: ING. WILBER FLORES BUSTILLOS

LA PAZ – BOLIVIA
2023



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



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

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

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

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

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

Dedicatoria

A mi madre, Eulogia por su todo amor, paciencia y constante aliento. Ha sido mi ejemplo de perseverancia y dedicación. Gracias por creer en mí y por brindarme todas las oportunidades para crecer y aprender.

A mi hermana Angela por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento.

Agradecimientos

Agradecer a Dios, mi familia y amigos por estar presentes en el desarrollo de mi carrera profesional.

A mis docentes, por la sabiduría y conocimientos que me transmitieron en el desarrollo de mi formación académica.

RESUMEN

Uno de los principales problemas para el desarrollo de un país es el desfase o retraso al momento de implementar una nueva tecnología. Por esta razón es importante analizar el despliegue de la tecnología 5G de una manera ágil y eficiente. Para lograrlo es posible aprovechar la nueva arquitectura virtualizada definida por la 3GPP para las redes de quinta generación, que ofrece una manera fácil de introducir el comportamiento nativo de la nube en la arquitectura 5G, permitiéndonos la división de los recursos de hardware en funciones que pueden ser controladas por software "virtualización de funciones de red (NFV)", logrando así nuevas posibilidades de optimizar el Core 5G.

Este proyecto se centra en aprovechar los beneficios de la virtualización en un componente esencial del core 5G, como es la Función de Plano de Usuario (UPF), con el objetivo de lograr la abstracción del mismo, en un diseño que nos permita llevar la UPF virtualizada a un entorno de Cloud Computing, como lo son las nubes públicas. Lo cual nos permitirá liberar la capacidad genuina de 5G y satisfacer los requisitos futuros de latencia y rendimiento de las tecnologías emergentes.

ABSTRACT

One of the main problems for the development of a country is the lag or delay when implementing a new technology. For this reason, it is important to analyze the deployment of 5G technology in an agile and efficient way. To achieve this, it is possible to take advantage of the new virtualized architecture defined by 3GPP for fifth generation networks, which offers an agile way to introduce the native behavior of the cloud in the 5G architecture, allowing us to divide hardware resources into functions that can be controlled by software "network functions virtualization (NFV)", thus achieving new possibilities to optimize the Core 5G.

This project focuses on taking advantage of the benefits of virtualization in an essential component of the 5G core, such as the User Plane Function (UPF), with the aim of achieving its abstraction, in a design that allows us to carry the UPF virtualized to a Cloud Computing environment, such as public clouds. This will allow us to meet the future latency and performance requirements of emerging technologies, and unleash the genuine capacity of 5G.

CONTENIDO

	Págs.
CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.2.1. Justificación Académica	2
1.2.2. Justificación Social	3
1.3. Análisis y Problemática	4
1.3.1. Planteamiento del Problema	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Alcances, Límites del Proyecto.....	5
1.5.1. Alcances.....	5
1.5.2. Límites.....	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Evolución hacia la tecnología 5G	7
2.1.1. Primera Generación de Tecnología Móvil	7
2.1.2. Segunda Generación de Tecnología Móvil.....	8
2.1.3. Tercera Generación de Tecnología Móvil.....	8
2.1.4. Cuarta Generación de Tecnología Móvil	8
2.2. ¿Qué es la Tecnología 5G?	9
2.2.1. Características de la Tecnología 5G	9
2.2.1.1. Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB).....	10

2.2.1.2. Comunicaciones de Baja Latencia Ultra Confiables (uRLLC)	11
2.2.1.3. Comunicaciones Masivas de Maquina a Maquina (mMTC)	12
2.2.2. Fases de desarrollo 5G	12
2.2.3. Espectro y frecuencia de la tecnología 5G	14
2.3. Arquitectura de Red 5G	15
2.3.1. 5G Core Network: Funciones de Red	16
2.3.1.1. User Plane Function (UPF)	16
2.3.1.2. Access and Mobility Management Function (AMF)	17
2.3.1.3. Session Management Function (SMF)	18
2.3.2. Escenarios de despliegue de redes 5G	19
2.3.2.1. Redes 5G NSA (Non Stand Alone Architecture)	19
2.3.2.2. Redes 5G SA	21
2.4. Virtualización de Funciones de Red (NFV)	22
2.4.1. Arquitectura de NFV	23
2.4.2. Funciones de red Virtualizadas (VNF)	24
2.5. Software definido por Software (SDN)	26
2.5.1. Arquitectura SDN	26
2.6. Cloud Computing	27
2.6.1. Tipos de nube	28
2.6.2. Servicios de la nube	30
CAPÍTULO III. MARCO PRÁCTICO Y METODOLOGÍA	33
3.1. Diseño del Escenario de Pruebas	33

3.1.1. Separación de Plano de Usuario y Plano de Control	33
3.1.2. Infraestructura Cloud	34
3.2. Configuración y Despliegue de la Visualización UPF 5G	45
3.3. Despliegue y Simulación de la Red	47
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN	49
4.1. Evaluación del desempeño de la abstracción en nube publica	49
4.2. Evaluación de desempeño de la UPF virtualizada	50
4.2.1. Evaluación de velocidad de despliegue.....	51
4.2.2. Evaluación del Throughput y Gestión de Trafico	52
4.2.3. Baja latencia.....	53
4.2.4. Alta capacidad para escalar	54
4.2.5. Eficiencia energética	55
4.2.6. Seguridad.....	56
4.2.7. Interoperabilidad.....	58
4.3. Evaluar los beneficios en los servicios de Tercera fase del 5G.....	59
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1 <i>Evolución de las 5 generaciones de conexiones inalámbricas</i>	7
Figura 2.2 <i>Casos de uso soportados en tecnología 5G NR</i>	10
Figura 2.3 <i>Desarrollo de 5G</i>	13
Figura 2.4 <i>Rango de Frecuencias 5G</i>	14
Figura 2.5 <i>Espectro Global Mainstream 5G</i>	15
Figura 2.6 <i>Arquitectura de red 5G basada en servicios</i>	16
Figura 2. 7 <i>Modo de operación en redes móviles 5G</i>	19
Figura 2.8 <i>Componentes De La Arquitectura NSA</i>	21
Figura 2.9 <i>Elementos de la arquitectura SA</i>	22
Figura 2.10 <i>Aplicaciones básicas de NFV</i>	23
Figura 2.11 <i>Esquema de arquitectura NFV</i>	24
Figura 2.12 <i>Integración de VNFs en una Infraestructura NFV</i>	25
Figura 2.13 <i>Arquitectura SDN</i>	27
Figura 2.14 <i>Cloud Computing</i>	28
Figura 2.15 <i>Principales proveedores de nubes publicas</i>	29
Figura 2.16 <i>Servicios de Cloud Computing</i>	31

Capítulo III. MARCO PRÁCTICO Y METODOLOGÍA

Figura 3.1 <i>Separación de Plano de Control y Plano de Usuario</i>	33
---	----

Figura 3.2 <i>Esquema de 5G UPF como VNF</i>	34
Figura 3.3 <i>Beneficios de la nube AWS</i>	35
Figura 3.4 <i>Características de la instancia EC2</i>	35
Figura 3.5 <i>Esquema de conexión y gestión EC2</i>	36
Figura 3.6 <i>Instalación de librerías</i>	37
Figura 3.7 <i>Instalación de entidades de Plano de Control</i>	37
Figura 3.8 <i>Instalación de módulo de Linux kernel 5G GTP-U</i>	37
Figura 3.9 <i>Instalación de VNF UPF 5G</i>	38
Figura 3.10 <i>Esquema de gestión Cloud AWS UPF virtualizada</i>	39
Figura 3.11 <i>Escenario de Pruebas</i>	39
Figura 3.12 <i>Evaluación del Rendimiento bajo Carga Normal</i>	40
Figura 3.13 <i>Lista por terminar 1</i>	41
Figura 3.14 <i>Lista por terminar 2</i>	42
Figura 3.15 <i>Resultados Visual</i>	43
Figura 3.16 <i>Configuración de Firewall</i>	44
Figura 3.17 <i>Configuración de AppArmor (perfil de seguridad de aplicaciones)</i>	44
Figura 3.18 <i>Configuración de Seguridad en Red (Network Security)</i>	44
Figura 3.19 <i>Símbolo del Sistema</i>	45
Figura 3.20 <i>Configuración e Instalación de Librerías 1</i>	46
Figura 3.21 <i>Configuración e Instalación de Librerías 2</i>	46

Figura 3.22 *Configuración e Instalación de Librerías 3* 47

Figura 3.23 *Despliegue de la red* 48

Figura 3.24 *Simulación de la red*..... 48

Capítulo IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

Figura 4.1 *Beneficios de la abstracción*..... 49

Figura 4.2 *Escalabilidad horizontal de la UPF Virtualizada* 50

Figura 4.3 *Velocidad de despliegue* 52

Figura 4.4 *Throughput DL/UL y latencia de procesamiento de datos*..... 53

Figura 4.5 *Comparación de latencia RTT con carga congestionada*..... 54

Figura 4.6 *Desempeño de la escalabilidad en la UPF Virtualizada en AWS*..... 55

Figura 4.7 *Eficiencia energética con la nube AWS*..... 56

Figura 4.8 *Seguridad de red y límite de conexiones recurrentes* 57

Figura 4.9 *Protección contra intrusos AWS*..... 57

Figura 4.10 *Interoperabilidad de tecnologías y proveedores*..... 58

Figura 4.11 *Aplicaciones URLCC con latencias menores a 1ms* 60

Figura 4.12 *Beneficios de MEC con múltiples UPFs* 61

Figura 4.13 *Despliegue de Core 5G en AWS*..... 62

Figura 4.14 *Beneficios en latencia de UPF virtualizada vs UPF tradicional* 62

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo II. MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1 *Requerimientos técnicos para eMBB* 11

Tabla 2.2 *Requerimientos técnicos para uRLLC* 12

Tabla 2.3 *Requerimientos técnicos para mMTC* 12

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El 5G va a ser la herramienta más importante de tecnología para el desarrollo económico de los países en los próximos 10 años. Un país sin 5G será como un país sin entradas, carreteras, sin autopista, puertos, ni aeropuertos, será un país con mucha dificultad para atraer nuevas inversiones, con una industria con poca eficiencia y poca competitividad.

Mientras que, en Estados Unidos se ha emprendido la primera red comercial 5G Stand-Alone, y en Europa han complementado la cobertura 5G con las frecuencias existentes, haciendo el cambio en 4G y 5G a cada 1 milisegundo.

Nuestra región no es indiferente al desarrollo tecnológico, la era de la tecnología 5G comenzó en América Latina con el lanzamiento de servicios 5G en Brasil y Uruguay en 2020. (GSMA Latin America,2021)

Para junio de 2023, se registraron un total de 28 despliegues comerciales de la tecnología 5G en Latinoamérica y el Caribe. Hasta esa fecha, Brasil y Chile eran los países de la región con la mayor cantidad de despliegues de la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil, con cuatro redes operadas. Se estima que para 2025 alrededor del 11% de las conexiones de internet móvil en América Latina sean a través de la tecnología 5G. Sin embargo, dicho pronóstico es más optimista para las mayores economías de la región. Por ejemplo, se espera que el alcance de la 5G en las conexiones móviles de Brasil y México sean del 17% y 14% en 2025, respectivamente. Las capacidades 5G clave, incluidas velocidades más altas y latencias ultra bajas, tienen el potencial de habilitar soluciones innovadoras para empresas que busquen nuevas maneras de operar e incrementar la productividad. (Statista,2023)

Habilitar 5G es imperativo si queremos facilitar el surgimiento de la Sociedad 5.0, pero esta tecnología no alcanzará su capacidad total en una infraestructura física estática. Necesitaremos virtualización.

Solo trascendiendo el hardware tangible para convertirse en basado en la nube y administrado por software, 5G podrá liberar toda su gama de beneficios latentes: alta velocidad, baja latencia, menor costo operativo, mayor eficiencia energética, escalabilidad mejorada y mayor agilidad.

La virtualización de la red 5G permitirá la división de los recursos de hardware en funciones que pueden ser controladas por software: virtualización de funciones de red (NFV). En la gestión de redes, NFV busca optimizar directamente los servicios de red. El enfoque de gestión de red asociado, redes definidas por software (SDN), establece una vista centralizada de la red al separar los planos de control y reenvío.

Como resultado de NFV, los recursos de red se pueden configurar y asignar para atender las necesidades de clientes o categorías de servicios específicos, sin necesidad de ajustes físicos o infraestructuras dedicadas.

Tal reestructuración acortará el camino para tecnologías y arquitecturas 5G tan esperadas como la División de Redes (Network Slicing) y la Computación de Borde de Acceso Múltiple (MEC). (RedHat,2019)

1.2.1. Justificación Académica

El proyecto a desarrollar describe conceptos y tecnologías de tendencia actual, que serán aplicadas para abstraer de manera efectiva las funciones de red de la arquitectura 5G e introducir nuevas capacidades como la virtualización y la computación en la nube.

El despliegue de una red 5G supone un importante desafío, puesto que es tecnología altamente costosa y compleja, que aún está en etapa de experimentación y desarrollo, lo cual pone a los operadores móviles en una situación complicada al momento de decidir su estrategia de despliegue.

El enfoque del proyecto nos brinda una opción para que las redes 5G puedan ser desplegadas en un entorno de nube, del cual aprovecharemos su agilidad, disponibilidad y su bajo costo, de manera que se constituye en una opción relevante para la puesta en marcha de las redes 5G.

Al culminar el presente proyecto será un aporte como referencia bibliográfica y como guía brindando los conocimientos necesarios, para futuros trabajos de investigación con tecnología 5G o de la misma índole.

1.2.2. Justificación Social

Una sociedad más digitalizada permite tomar decisiones de forma más eficiente con foco en los ciudadanos, actualmente nuestro país cuenta con la infraestructura 4G, que nos permite mantenernos conectados pero que tiene ciertas limitaciones si se piensa en las tecnologías vanguardistas que empujan a tener dispositivos cada vez más conectados y a una transferencia de datos mucho mayor.

Es por eso que este proyecto pretende definir una ruta que nos lleve al desarrollo de nuevas tecnologías, que habilitará una capacidad mayor sobre la inclusión digital desde el punto de vista del ciudadano y también incluso desde el punto de vista de micro, pequeñas y medianas empresas.

1.3. Análisis y Problemática

1.3.1. Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas para el desarrollo de un país es el desfase o retraso al momento de implementar una nueva tecnología, esto ocasiona el aumento de la brecha digital que a la vez margina aún más a la población.

Por esta razón es importante analizar la implementación de la tecnología 5G de una manera ágil y eficiente. Una opción a tomar es la virtualización que al aplicarla a la arquitectura 5G, nos brinda beneficios técnicos y comerciales que permiten aumentar la eficiencia, flexibilidad y capacidad de la infraestructura.

Otro problema a afrontar son los requerimientos marcados por la ITU para los sistemas IMT-2020, específicamente los de 3ra Fase como son las comunicaciones de ultra baja latencia (uRLLC -Ultra- Reliable and Low Latency Communications), que nos exigen baja latencia en torno a 1 milisegundo frente a los 20-30 milisegundos propios de las redes 4G.

Al lograr virtualizar una de las funciones principales del Core 5G como es la UPF, podríamos cumplir con los problemas planteados. Cumplir con los requerimientos de la ITU para uRLLC y agilizar el despliegue de las futuras redes 5G de los operadores móviles del país, que podrían ser implementadas en un corto plazo sin invertir en toda la arquitectura física como sucedió con las tecnologías predecesoras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una Función de Plano de Usuario (UPF) 5G virtualizada, en un entorno de nube pública.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir las limitaciones de las redes 5G desplegadas actualmente y describir cuáles son las tecnologías que permitirán liberar todo el potencial del 5G.
- Describir los beneficios de la abstracción de la arquitectura 5G, con la utilización de tecnologías como la Virtualización de Funciones de Red (NFV) y las Redes Definidas por Software (SDN).
- Adaptar un modelo de UPF 5G como una Función de Red Virtualizada (VNF).
- Determinar la nube pública adecuada para asegurar el correcto despliegue de una Función de Red 5G en un entorno informático de Cloud Computing.
- Identificar el impacto que tendrá una UPF Virtualizada en los servicios de 3ra fase del 5G, como las Comunicaciones Ultra Confiables de Baja Latencia (URLLC).

1.5. Alcances, Limites del Proyecto

1.5.1. Alcances

El presente proyecto desarrollara el concepto de la virtualización de funciones de red en las redes de quinta generación, específicamente aplicada a la función de plano de usuario 5G, con la ayuda de tecnologías de última generación y siguiendo los

estándares, términos, parámetros y recomendaciones ofrecidas por la 3GPP para IMT-2020.

Con la implementación de una UPF 5G virtualizada, tecnología propuesta y a desarrollar ofrecerá un beneficio social muy significativo, en muchos aspectos de los cuales resaltamos la reducción de la brecha digital, con el despliegue ágil y eficiente de las futuras redes 5G.

La implementación del proyecto contribuirá al derecho de comunicación, los niveles de penetración de comunicación móvil se elevarán, lo cual significa desarrollo para el país.

1.5.2. Límites

El presente proyecto se desarrolla en base a una profunda investigación de los diferentes estándares y normas que rigen para IMT-2020, así como la nueva arquitectura virtualizada definida por la 3GPP para las redes de quinta generación y el beneficio tecnologías complementarias.

El proyecto se limita a la virtualización de una sola función de red de la arquitectura 5G y los beneficios que implica su despliegue en el Core 5G. Dejando pendiente el desarrollo de la virtualización aplicada a toda la arquitectura 5G, lo cual será posible extendiendo el conocimiento y las bases que deja el presente proyecto, y que podrá ser utilizado para futuros proyectos de la misma índole.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

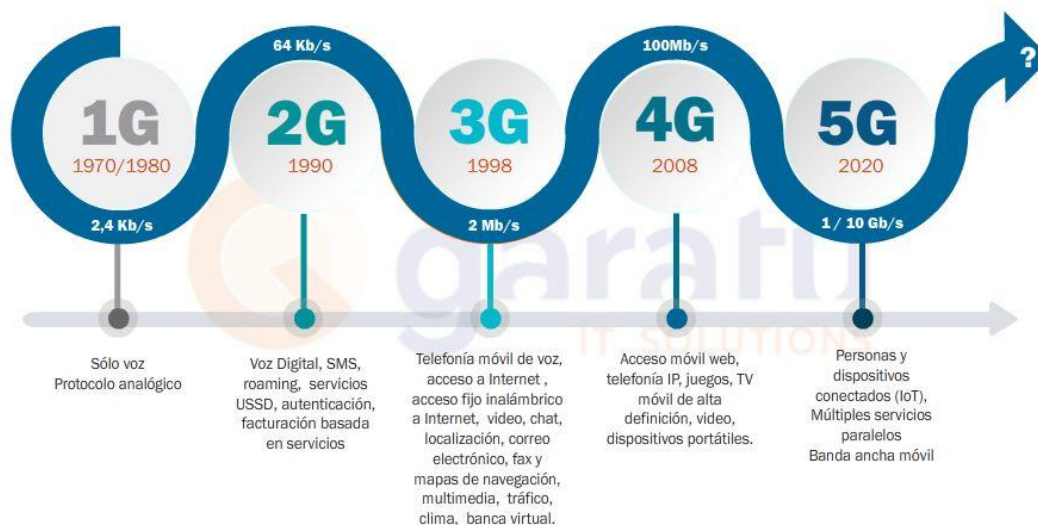
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Evolución hacia la tecnología 5G

Las redes móviles han evolucionado a lo largo del tiempo, cada generación de redes móviles ha traído un cambio revolucionario y una visión emplazada por el cambio radical que las precede. Este es el viaje que nos ha llevado desde la tecnología 1G hasta la tecnología 5G.

Figura 2.1

Evolución de las 5 generaciones de conexiones inalámbricas



Nota.: [Grupo Garatu 2022]

2.1.1. Primera Generación de Tecnología Móvil

Desarrollado en Japón a fines de los 70, la primera generación de redes móviles se masificó a mediados de los 80, gracias al DynaTAC de Motorola. El 1G, como se le conoce ahora, solo transmitía voz, de baja calidad. Con una velocidad máxima de 2,4

Kbps, el primer aproximamiento a la telefonía celular tenía sus limitaciones, pero no por eso dejó de ser revolucionario. (Axel Christiansen, 2021)

2.1.2. Segunda Generación de Tecnología Móvil

Desarrollado en Finlandia, el estándar GSM fue presentado el año 1991 a nivel mundial y convirtió las transmisiones análogas del celular en digitales, el primer paso para que la comunicación móvil comenzara a evolucionar. La principal novedad de esta nueva generación fue la llegada de los SMS, los ya clásicos mensajes de texto que permitían comunicar lo necesario, sin necesidad de llamar. El 2G dominó los 90.

2.1.3. Tercera Generación de Tecnología Móvil

A principios de los años 2000 fue presentada la tercera generación móvil. Brindando un aumento de gran medida en la velocidad de transmisión: de 200 kilobits por segundo (Kbps) a 40 megabits por segundo (Mbps), trajo un acceso a internet mucho más robusto y con ello, aparecieron los primeros “smartphones”, teléfonos capaces de permitirnos leer nuestros correos, navegar por Internet, bajar aplicaciones, canciones o ver redes sociales. (Axel Christiansen, 2021)

2.1.4. Cuarta Generación de Tecnología Móvil

Lanzado en el 2008, el 4G también conocido como LTE, llegó para mejorar principalmente la velocidad de nuestros dispositivos, logrando alcanzar velocidades de hasta 150 Mbps en los dispositivos móviles, simplemente inalcanzables para la tecnología de la época, algo alrededor de 10 veces más rápida que su antecesora. Las redes 4G utilizan soluciones enteramente con tecnología IP que envían contenido de voz, datos y multimedia a un usuario en cualquier lugar y tiempo.

2.2. ¿Qué es la Tecnología 5G?

El 5G es la quinta generación de tecnología celular que se ha desarrollado para mejorar la velocidad, reducir la latencia y mejorar la flexibilidad de los servicios inalámbricos. Esta nueva tecnología móvil aumentará la velocidad de conexión, reducirá al mínimo la latencia (el tiempo de respuesta de la web) y multiplicará exponencialmente el número de dispositivos conectados. (González y Salamanca, 2016)

La tecnología 5G también mejorará la conectividad en áreas rurales desatendidas y en ciudades donde la demanda puede superar la capacidad actual de la tecnología 4G. Las nuevas redes 5G también contarán con una arquitectura densa de acceso distribuido y moverán el procesamiento de datos más cerca del perímetro, para habilitar un procesamiento de datos más rápido en beneficio del usuario.

2.2.1. Características de la Tecnología 5G

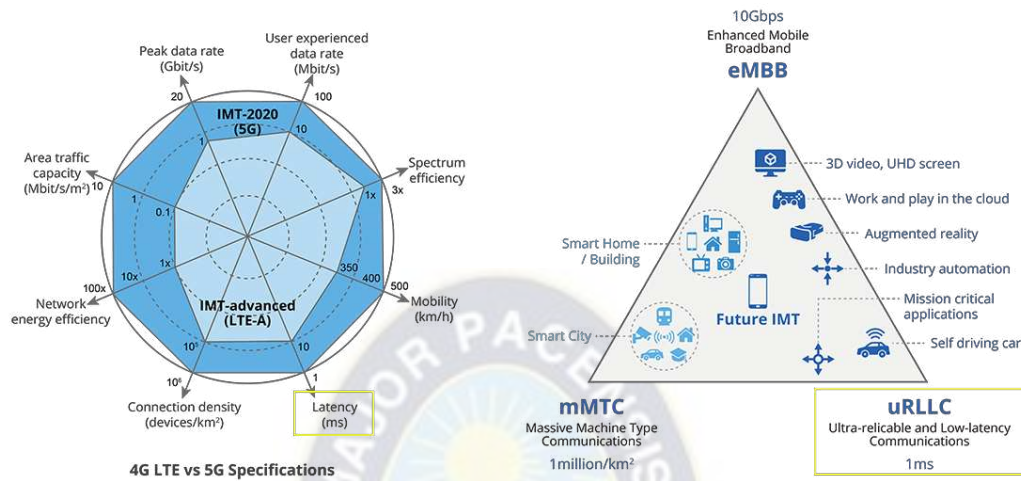
La ITU-R ha definido tres tipos de escenarios de aplicación 5G en junio de 2015:

- eMBB: banda ancha móvil mejorada (Enhanced Mobile Broadband)
- mMTC: comunicaciones de máquinas masivas (Massive Machine-Type Communications)
- uRLLC: comunicaciones ultra fiables y de baja latencia (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)

Los requerimientos de capacidad de las redes 5G se definen desde 8 dimensiones como el rendimiento, el retraso, la densidad de conexión y la mejora de la eficiencia espectral. (Huawei Technologies, 2021)

Figura 2.2

Casos de uso soportados en tecnología 5G NR



Nota.: [Technology,2021]

2.2.1.1. Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB)

El servicio eMBB está orientado al usuario, permitiendo mayores velocidades de transmisión para los contenidos de multimedia, transmisión de datos, mejorando la experiencia de usuario, permitiendo el acceso a servicios de realidad virtual, realidad aumentada, tv en vivo, descargas en segundos, juegos en línea, etc.

Este caso de uso se relaciona con servicios que dependen de parámetros específicos de ancho de banda para funcionar de manera eficiente. Ejemplos de ello incluyen aplicaciones que requieren la transmisión de contenido multimedia en alta definición, lo que demanda un ancho de banda adecuado. Es importante destacar que los requisitos de ancho de banda pueden variar según el entorno o la zona donde se brinde el servicio, siendo más altos en entornos urbanos densos en comparación con áreas rurales o abiertas. (Alvares,2021)

Tabla 2.1*Requerimientos técnicos para eMBB*

Technical performance requirement	DL	UL	Comparison to IMT-Advanced requirement
Peak data rate	20 Gbit/s	10 Gbit/s	<i>~6× LTE-A (Release-10)</i>
Peak spectral efficiency	30 bit/s/Hz	15 bit/s/Hz	<i>2× IMT-Advanced</i>
User-experienced data rate (fifth percentile user data rate)	100 Mbit/s	50 Mbit/s	–
5th percentile user spectral efficiency	<i>~3× IMT-Advanced</i>	<i>~3× IMT-Advanced</i>	<i>~3× IMT-Advanced</i>
Average spectral efficiency	<i>~3× IMT-Advanced</i>	<i>~3× IMT-Advanced</i>	<i>~3× IMT-Advanced</i>
Area traffic capacity	10 Mbit/s/m ²	–	–
Energy efficiency	High sleep ratio and long sleep duration under low load		–
Mobility class With traffic channel link data rates	–	Up to 500 km/h, with 0.45 bit/s/Hz	<i>1.4× mobility class 1.8× mobility link data rate</i>
User plane latency	4 ms	4 ms	<i>>2× reduction compared to IMT-Advanced</i>
Control plane latency	20 ms	20 ms	<i>>5× reduction compared to IMT-Advanced</i>
Mobility interruption time	0	0	<i>Much reduced</i>

Nota. (Lei, et al., 2021)

2.2.1.2. Comunicaciones de Baja Latencia Ultra Confiables (uRLLC)

Las aplicaciones con este servicio (uRLLC) requieren estrictos niveles de latencia y confiabilidad. El sistema 5G establece valores objetivo teóricos de 1ms de latencia para el plano de usuario y de 99.999% de confiabilidad para paquetes de 32 Bytes. Algunas aplicaciones se encuentran en el sector industrial, automotriz y de salud. En la industria permite el control inalámbrico de maquinaria, en el sector automotriz permite un mayor desarrollo de vehículos autónomos y en el campo de la salud posibilita el desarrollo de áreas como la telemedicina y telecirugía. (Pulido,2020)

Tabla 2.2*Requerimientos técnicos para uRLLC*

Technical performance requirement	DL	UL	Comparison to IMT-Advanced requirement
User plane latency	1 ms	1 ms	<i>>10× reduction compared to IMT-Advanced</i>
Control plane latency	20 ms	20 ms	<i>>5× reduction compared to IMT-Advanced</i>
Mobility interruption time	0	0	<i>Much reduced</i>
Reliability	99.999% within 1 ms	99.999% within 1 ms	–

Nota. (Lei, et al., 2021)

2.2.1.3. Comunicaciones Masivas de Maquina a Maquina (mMTC)

Este caso de uso principalmente se refiere a los servicios IoT (internet de las cosas) que son caracterizados por un numero masivo de equipos. Ejemplos de servicios IoT incluyen ciudades inteligentes, casas inteligentes, monitoreo remoto. (Lin & Lee, 2021)

Tabla 2.3*Requerimientos técnicos para mMTC*

Technical performance requirement	DL	UL	Comparison to IMT-Advanced requirement
Connection density	–	1,000,000 devices/km ²	–

Nota.: (Lei, et al., 2021)

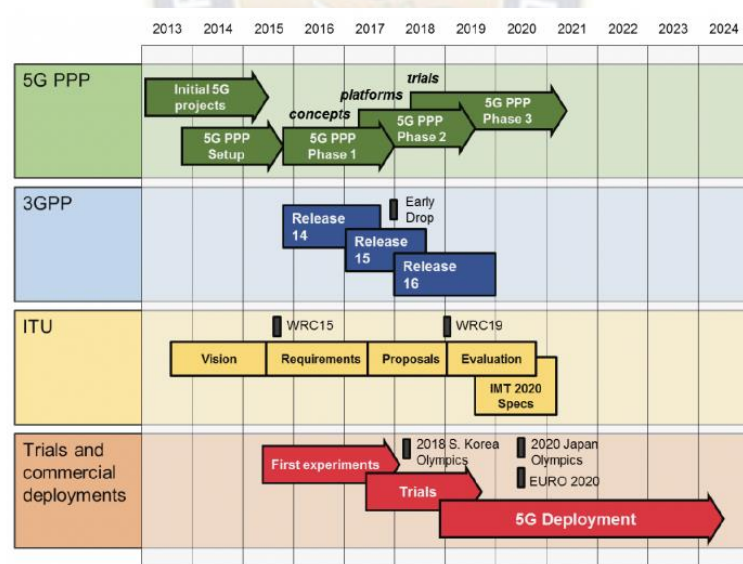
2.2.2. Fases de desarrollo 5G

La nueva generación de comunicaciones, conocida como 5G, ha evolucionado a través de varias fases delineadas por 5GPPP. En la primera fase, que comenzó en 2010, se realizó una investigación intensiva sobre los nuevos conceptos que formarían la base del 5G. La segunda fase se enfocó en la implementación práctica de las plataformas

investigadas en la fase anterior. En esta etapa, se llevaron a cabo desarrollos concretos basados en los resultados de la fase de investigación. Finalmente, la última fase se dedicó a realizar pruebas exhaustivas en las diversas plataformas que se habían implementado y desarrollado en la fase anterior. Estas pruebas permitieron validar la funcionalidad, la eficacia y la viabilidad de las tecnologías 5G en condiciones del mundo real. Cada fase desempeñó un papel crucial en el proceso de desarrollo y despliegue de la tecnología 5G, permitiendo su progresiva evolución desde la fase conceptual hasta su aplicación práctica en las redes de comunicaciones modernas. (Alvarez,2021)

Figura 2.3

Desarrollo de 5G



Nota.: Connectivity Automation for 5G Networks

En la figura 2.3 se puede apreciar un diagrama en el tiempo sobre las diferentes fases de desarrollo del 5G, sobre las distintas versiones que ha ido teniendo y sobre las diferentes pruebas que se realizaron.

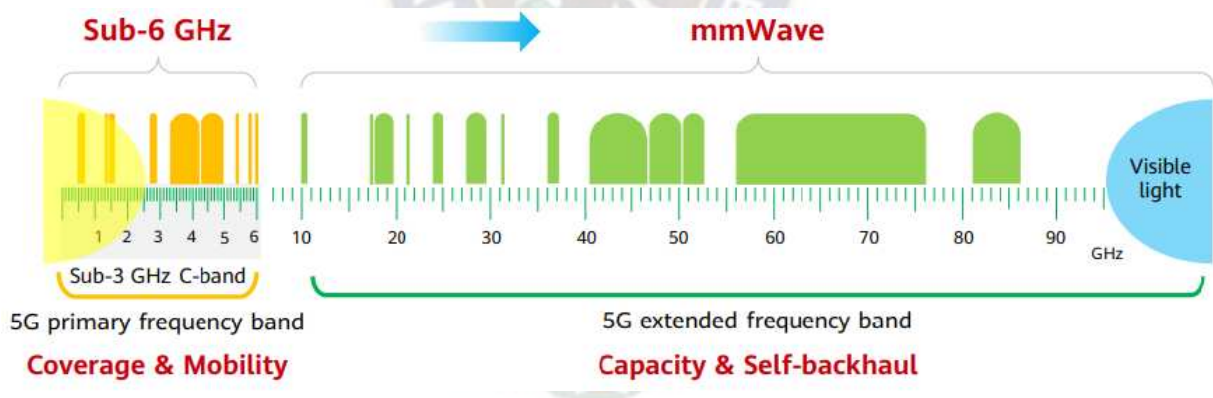
2.2.3. Espectro y frecuencia de la tecnología 5G

Con respecto al espectro de la tecnología 5G, las especificaciones de 3GPP definen que el espectro puede ser dividido en dos rangos de frecuencia: FR1 (rango de frecuencia 1) y FR2 (rango de frecuencia 2).

- FR1: sub-6 GHz, la principal banda de frecuencias para 5G. En este rango de frecuencias se agrupan aquellas que están por debajo de los 6 GHz y las frecuencias por debajo de los 3 GHz son llamadas sub-3 GHz y todo el espectro es referido como C-band (la banda "C")
- FR2: mmWave encima de los 6 GHz, la banda de frecuencias más extensa para 5G, con abundantes recursos de espectro.

Figura 2.4

Rango de Frecuencias 5G



Nota.: (Huawei Technologies, 2021)

A medida que dicha tecnología fue implementándose en los países del mundo, diferentes frecuencias se fueron licitando paulatinamente para el uso de diversas aplicaciones y servicios que se podrían proveer. Países de Europa, China, Estados Unidos, Japón, Corea del Sur optaron por licitar la banda de frecuencias C-Band (3.4-

4.9 GHz) la cual puede proveer al menos 200 MHz de banda ancha, convirtiéndose en el espectro principal mundial de la red 5G. (Huawei Technologies, 2021)

Figura 2.5

Espectro Global Mainstream 5G



Nota.: (Huawei Technologies, 2021)

2.3. Arquitectura de Red 5G

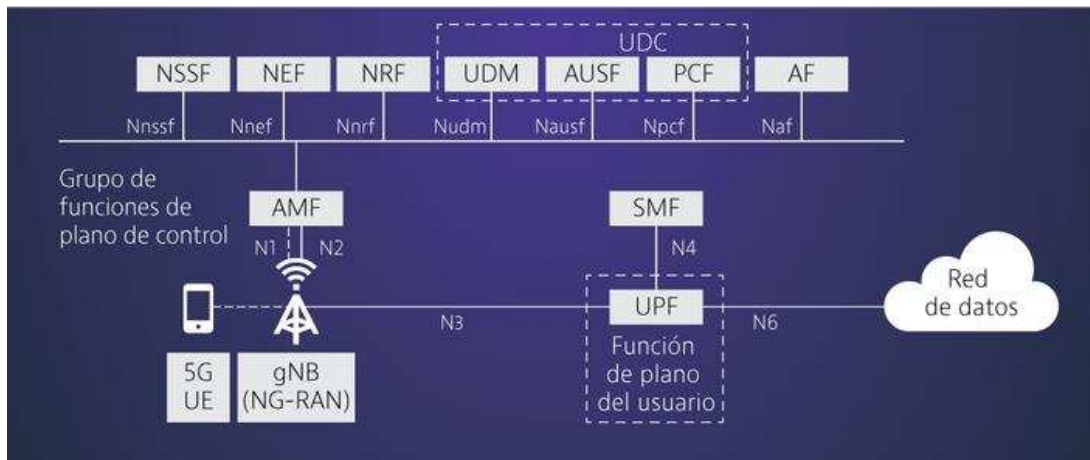
La arquitectura de red para 5G está formada por la red de acceso radio (RAN en sus siglas en inglés) y el núcleo de red 5G NGC (Nueva Generación Core). El NG-RAN se encarga de la gestión de los recursos radio, con el objetivo que los usuarios se puedan conectar a la red. Por otro lado, el 5G NGC realiza funciones de autenticación del usuario, enrutamiento local, direccionamiento del tráfico de red, servicios de localización, procesamiento de datos de control y usuario, políticas de acceso y movilidad, etc. Tanto el 5G NGC como el NG-RAN son implementaciones definidas por medio de NFV y SDN, donde una de sus ventajas, es realizar la separación del plano de control y del plano usuario, mejorando así el rendimiento de la red, permitiendo despliegues más flexibles y eficientes.

El nuevo núcleo de red 5G, según se define en el 3GPP, emplea una arquitectura basada en servicios (SBA) alineada con la nube que abarca todas las interacciones y

las funciones de la tecnología 5G, incluidas la autenticación, la seguridad, la gestión de sesiones y la adición de tráfico de dispositivos finales. (González,2019)

Figura 2.6

Arquitectura de red 5G basada en servicios



Nota.: [VIAVI Solutions Inc, 2021]

2.3.1. 5G Core Network: Funciones de Red.

La red de core está compuesta por funciones de red o Network Functions (NFs), a manera de software cada NF agrupa un conjunto de servicios. Las funciones de red pueden consumir servicios de otras NFs y a su vez exponer sus servicios a otras NFs. Entre las principales funciones de red se encuentran la AMF, SMF y UPF, por esta razón se describen con mayor detalle. (Paredes,2021)

2.3.1.1. User Plane Function (UPF)

La UPF se encarga del manejo del plano de usuario de una sesión PDU. Las tareas que realiza esta función de red son:

- La UPF se encarga de la detención de paquetes mediante el análisis de tráfico según las reglas provistas por la SMF, además se encarga de presionar a la SMF con reportes de tráfico.
- Actúa como punto de ancla cuando existe movilidad dentro y entre tecnologías de acceso de radio.
- Punto externo de sesión PDU para interconexión con la red.
- Ruteo y reenvío de paquetes.
- Tareas de plano de usuario en aplicación de políticas y gestión de calidad de servicio. (Iplook,2022)

2.3.1.2. Access and Mobility Management Function (AMF)

La AMF es una función de red que interviene en procesos de registro, movilidad accesibilidad y conexión.

- **Es proceso de registro:** se encarga de autorizar las conexiones del UE, establecer y liberar la red de acceso y las conexiones de señalización, proveer información de paging (identificadores de celda, área NG-RAN, mensajes de reportes de ubicación).
- **En procesos de movilidad:** se encarga de consultar las restricciones de movilidad actualizarlas al UE cuando existe cambio y en casos en que el UE necesita establecer conexiones con una nueva AMF, la AMF antigua se encarga de transferir las restricciones de movilidad a la nueva AMF. Adicionalmente, se encarga de los reportes de ubicación.
- **En proceso de paging:** implementa diferentes estrategias dependiendo del tipo de tráfico.

- **El proceso de gestión de sesión:** se encarga de la selección de la SMF, y de las interacciones con la SMF.
- Entre otras tareas que realiza la AMF se encuentran la seguridad de señalización NAS, autenticación de acceso a la red, para gestión de recurso Network Slicing se encarga de consultar información de la UDM, y cuando la tecnología de acceso no es estandarizada por la 3GPP se encarga de tareas de soporte de la interfaz N3IWF. (Iplook,2022)

2.3.1.3. Session Management Function (SMF)

La SMF interviene en procesos de sesión entre el UE y la res. Esta se encarga principalmente del establecimiento, configuración y liberación de las sesiones PDU (Packet Data Unit). Una sesión PDU se acepta o rechaza en base a la verificación de los datos de suscripción del UE con parte del proceso de establecimiento de sesión. Una sesión PDU es la conexión entre UE y la red a través de la cual se intercambian los diferentes PDUs.

Otras tareas que realiza la SMF son:

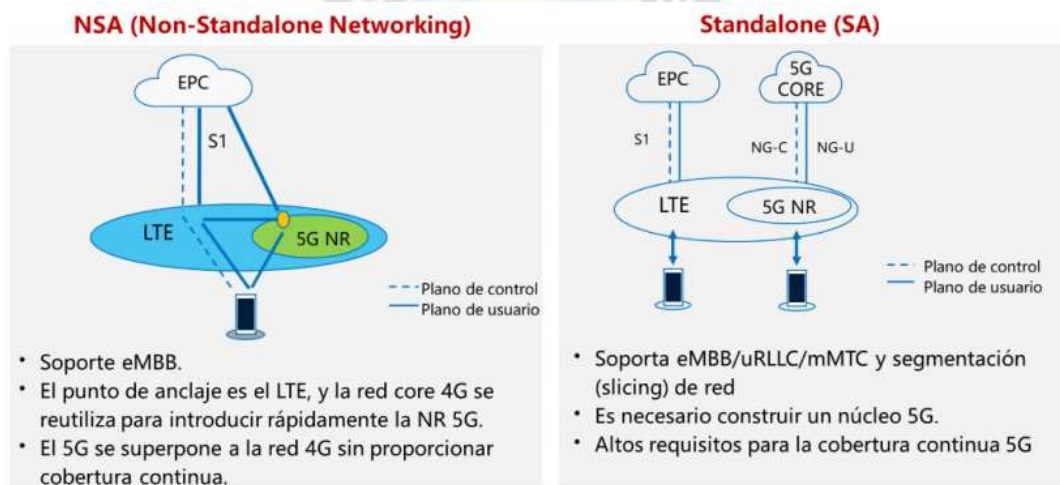
- Gestión y asignación las direcciones IP al UE
- Selección y control de la UDF, adicionalmente se encarga de proveer a la UPF con reglas de detección de tráfico.
- Configurar a dirección de tráfico en la UDF para enrutarlo a su destino
- Control En Aplicación De Políticas Y QoS (Quality Of Service)
- Notificación de datos en transmisiones descendentes. (Iplook,2022)

2.3.2. Escenarios de despliegue de redes 5G

La 3GPP, entidad encargada de establecer los estándares de telefonía móvil, decidió enfocar la transición al 5G en dos fases. Una fase inicial, la Release 15 3GPP o más conocido como 5G NSA (5G no autónomo), que ofrece un mayor aprovechamiento de la infraestructura 4G; y la segunda fase, Release 16 o 5G SA (5G completo), que requiere de gran cantidad de hardware nuevo. (Xataka, 2019).

Figura 2. 7

Modo de operación en redes móviles 5G



Nota.: [Huawei Technologies Co. Ltd., «HCIA-5G V1.0 H35-660 Training Material - H35-660-ENU,2019.]

2.3.2.1. Redes 5G NSA (Non-Stand Alone Architecture)

La arquitectura NSA se considera el paso previo al despliegue total de la infraestructura 5G, ya que permite la coexistencia de la red de acceso de 5G con la red de núcleo de 4G sin la necesidad de implementar la red de Core de 5G. mientras que la arquitectura SA es el despliegue de la red 5G por completo.

Como primera fase de implementación, en la descripción general del Release 15 se presenta la arquitectura EN-DC como arquitectura NSA, a la cual también se le conoce como “Opción 3 de Arquitectura”.

Por lo general, la arquitectura NSA se propone para periodos de migración, donde el sistema LTE se encarga de entregar la mayor área de cobertura y extender movilidad a los UEs mientras que NR se encarga de facilitar a los usuarios mayor capacidad para áreas con alta carga de tráfico, en esta arquitectura el sistema tiene los mismos servicios que se ofrecen en una red LTE, pero con una mejora debido a la presencia de 5G. (Rodriguez,2017)

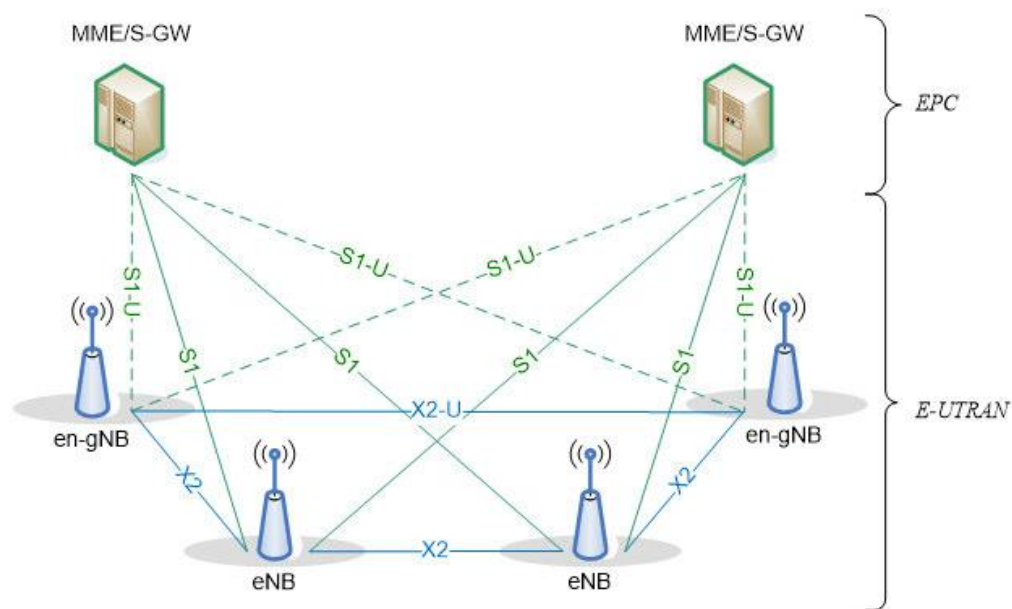
En el caso de la arquitectura NSA uno de los nodos provee al UE de acceso mediante la interfaz de radio de 5G, también llamada NR; y otro provee acceso mediante la interfaz de radio de LTE, también llamada E-UTRA. Así, la arquitectura NSA conecta la red de acceso de 5G con la red de núcleo de LTE.

En la arquitectura NSA el eNB de LTE actúa como nodo maestro y el en-gNB actúa como nodo secundario. El nodo Maestro, se encarga de proveer la conexión de plano de control de la red de core con la red de acceso. El en-gNB se encarga de conectar al UE con el plano de usuario y de control de NR, sin embargo, al ser un nodo secundario no presenta conexión de plano de control con la red de core. (Zambrano,2017)

En esta arquitectura el UE se conecta al eNB y al en-gNB. El eNB se conecta a la red de core de LTE a través de la interfaz S1 y al en-gNB por la interfaz X2. El en-gNB también puede estar conectado a la red de core por la interfaz S1 y a otros en-gNBs por la interfaz X2. La Figura 2.4. indica, de forma gráfica, los componentes de la arquitectura NSA.

Figura 2.8

Componentes De La Arquitectura NSA



Nota.: [Zambrano, 2017]

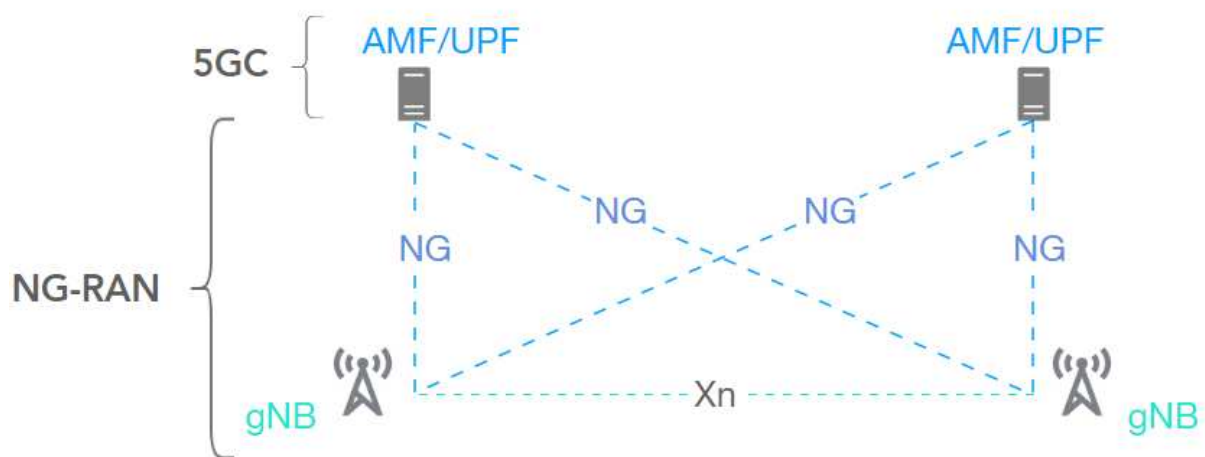
2.3.2.2. Redes 5G SA

La arquitectura SA consiste en la implementación total de la infraestructura de 5G, incluyendo su red de core, por lo tanto, los apartados de red de acceso, core, arquitectura y aspectos de capa física describen la arquitectura SA con mayor detalle.

A diferencia de la arquitectura NSA, la red de acceso y la red de core son propias del sistema 5G. En la Figura 2.6 se muestran los elementos principales de la arquitectura SA, contiene nodos gNB que se interconectan entre sí a través de la interfaz Xn, como parte de la red de acceso denominada NG-RAN. A su vez, los nodos gNB se conectan hacia la red de core mediante la interfaz NG.

Figura 2.9

Elementos de la arquitectura SA.



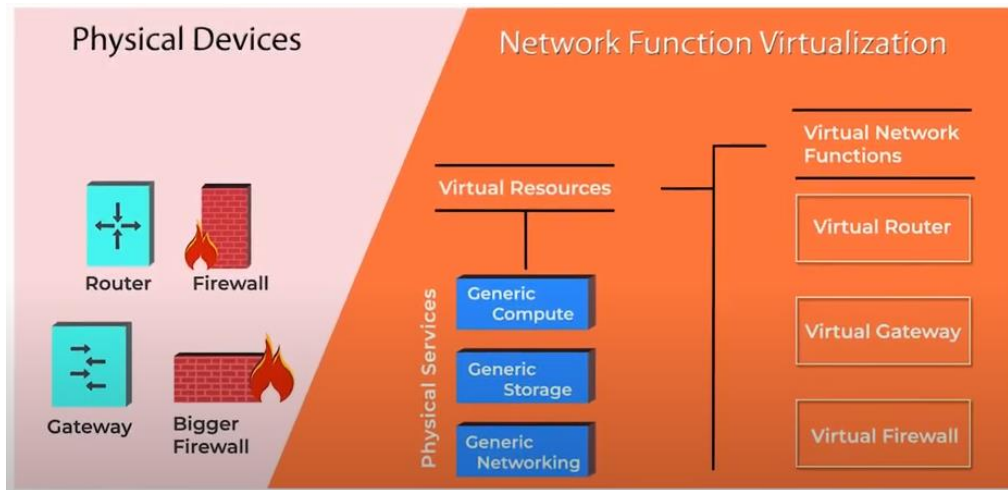
Nota.: [Peña, 2021]

2.4. Virtualización de Funciones de Red (NFV)

La virtualización de las funciones de red (NFV) es un enfoque de red propuesto por ETSI (European Telecommunications Standards Institute) que permite la sustitución de dispositivos de hardware dedicado, tales como routers, firewalls y equilibradores de carga entre otros equipamientos, por dispositivos basados en software que se ejecutan como máquinas virtuales en servidores estándares de la industria.

Figura 2.10

Aplicaciones básicas de NFV



Nota.: Uniinfo 2022

El objetivo de NFV es transformar la forma en que los operadores de red diseñan las redes mediante la evolución de la tecnología de virtualización de TI (Tecnología de Información) estándar para consolidar muchos tipos de equipos de red en servidores, switches y almacenamiento de gran volumen estándar en la industria, que podrían ubicarse en los Data Centers, en la red o en las instalaciones del cliente final. NFV reemplaza el equipo de red tradicional, diseñado a la medida (cajas negras) que continúa dominando la base instalada de redes. (Metzler, 2015)

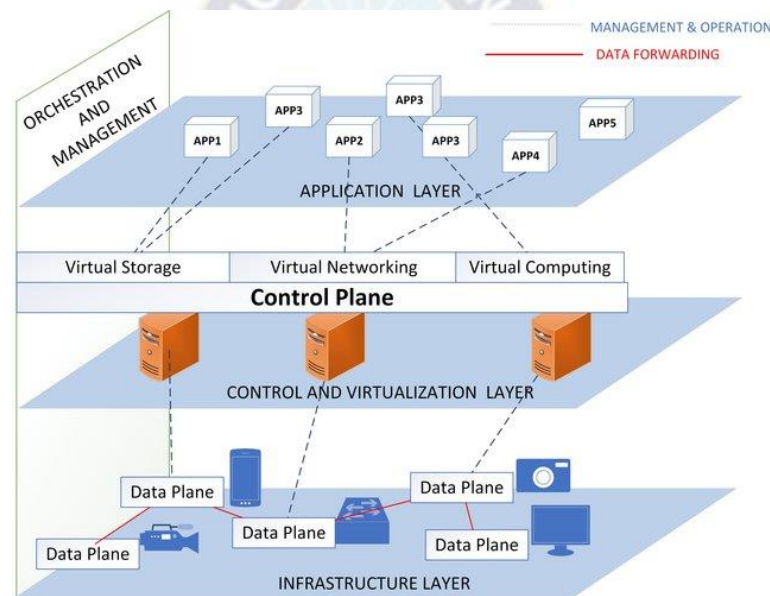
2.4.1. Arquitectura de NFV

La NFV no debe confundirse con una red virtualizada, porque la NFV, es un marco o arquitectura que busca descargar sólo las funciones de red, y no toda la red. También es importante señalar que la NFV es diferente de una función virtual de red (VNF), un término comúnmente utilizado para describir una función de red que se ejecuta en el software de una máquina virtual. (Chayapathi,2017)

NFV desacopla las funciones de la red de dispositivos de hardware dedicados y las traslada a uno o varios servidores virtuales, que pueden cumplir múltiples funciones en un único servidor físico. Este enfoque reduce los costos y minimiza el mantenimiento, debido a que los dispositivos virtuales reemplazan dispositivos de red basados en hardware dedicado.

Figura 2.11

Esquema de arquitectura NFV



Nota.: [SDN/NFV Architecture for IoT Networks, Septiembre 2018]

2.4.2. Funciones de red Virtualizadas (VNF)

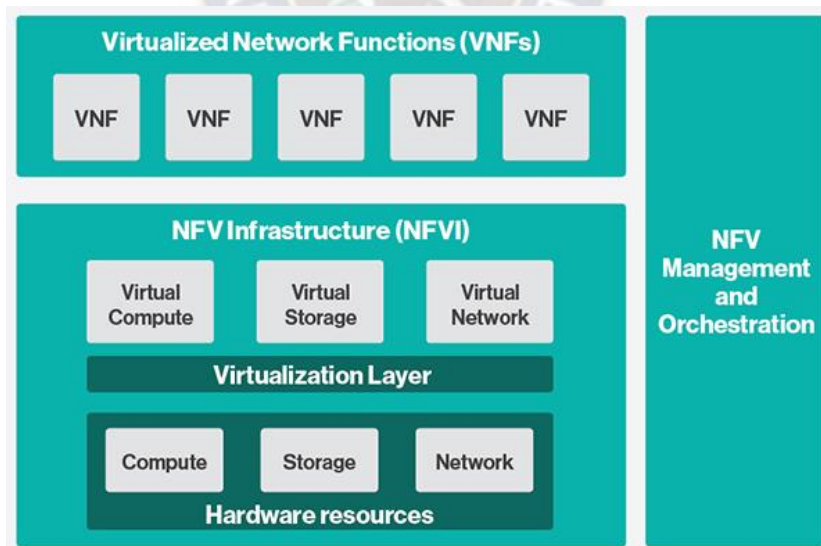
Las funciones de red virtualizadas (VNF) son aplicaciones de software que ofrecen este tipo de funciones, como los servicios de directorio, los enrutadores, los firewalls, los equilibradores de carga y mucho más. Se implementan como máquinas virtuales y suelen ser el paso que sigue en el proceso de transformación digital de los proveedores

de telecomunicaciones, en el cual dejan atrás las funciones de red física (PNF) de los dispositivos heredados que se ejecutan en sistemas de hardware propietarios.

Las VNF son un elemento fundamental de las arquitecturas de virtualización de las funciones de red (NFV) y se diseñan a partir de su infraestructura (NFVI), lo que incluye un gestor de infraestructura virtual (VIM), como Red Hat® OpenStack®, para asignar recursos informáticos, de almacenamiento y de red a las VNF de manera eficiente. El marco para gestionar la infraestructura de NFV e implementar VNF nuevas surge de los elementos de gestión, automatización y organización de la red (MANO) que define la virtualización de las funciones de red. (RedHat,2021)

Figura 2.12

Integración de VNFs en una Infraestructura NFV



Nota.: Calsoftinc, 2019

La NFV hace posible la infraestructura de la tecnología 5G mediante la virtualización de dispositivos dentro de la red 5G. Esto incluye la tecnología de segmentación de

redes (Network Slicing) que permite que varias redes virtuales funcionen a la vez. La NFV puede abordar otros desafíos de la tecnología 5G a través de recursos de red, almacenamiento e informática virtualizada que se personalizan según los segmentos de clientes y las aplicaciones.

2.5. Software definido por Software (SDN)

Las SDN constituyen una arquitectura de red cuyo objetivo fundamental es desacoplar el plano de control del plano de datos, lo que facilita un mayor control y nivel de gestión sobre los equipos de conectividad, garantizando al administrador de la red un control centralizado. El término control centralizado de la red tiene una connotación netamente lógica y, por tanto, la administración de la red se puede centrar en uno o varios servidores controladores, es decir, un control distribuido de manera física; incluso pueden existir servidores de respaldo en caso de una falla de un determinado servidor. (Mejía,2014)

2.5.1. Arquitectura SDN

La arquitectura SDN está diseñada para permitir redes más ágiles y rentables, su principal objetivo es separar el plano de control con el plano de datos, permitiendo que el control y la gestión de la red sea directamente programable y centralizado, así mismo, posibilita la existencia de inteligencia de red en los controladores. Permite la integración de diferentes equipos de proveedores ya que cuenta con un estándar abierto y es de gran ayuda para entornos celulares en función de escenarios cambiantes. La arquitectura SDN se divide en las siguientes capas

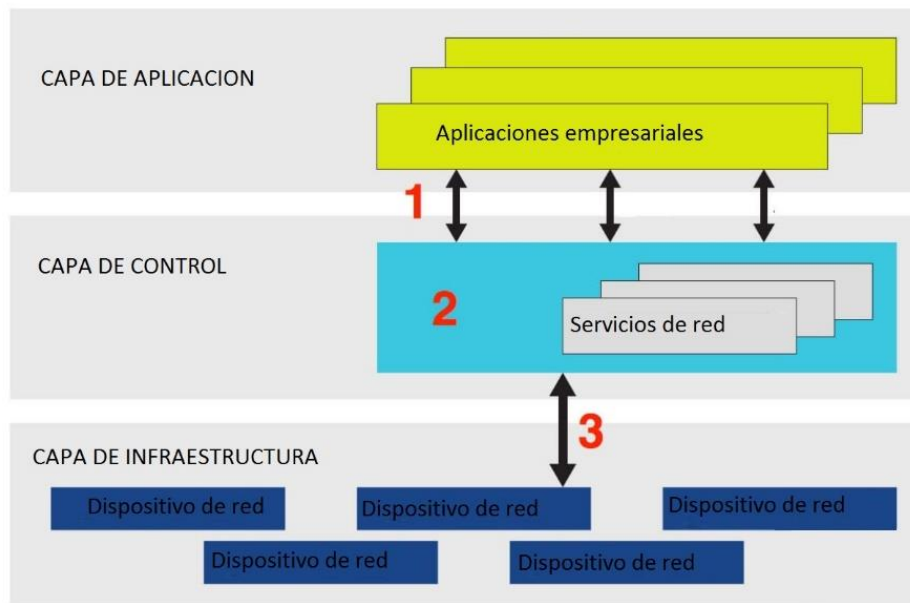
- Capa de aplicación: permite enrutamiento adaptativo, itinerancia sin interrupciones, mantenimientos a la red en tiempo real, proporciona seguridad

en la red, virtualización de la red, cloud computing, comunicando los requisitos de acceso por medio de una API que conecta con la capa de control.

- Capa de Control: Es el componente más importante de la arquitectura SDN ya que gestiona las capas de infraestructura y aplicación, contiene los servicios de red y control.
- Capa de Infraestructura: Es conocida como el hardware de la red donde se encuentran aplicaciones como el core network, switches, routers, estaciones base, etc.

Figura 2.13

Arquitectura SDN



Nota.: [Huawei,2021]

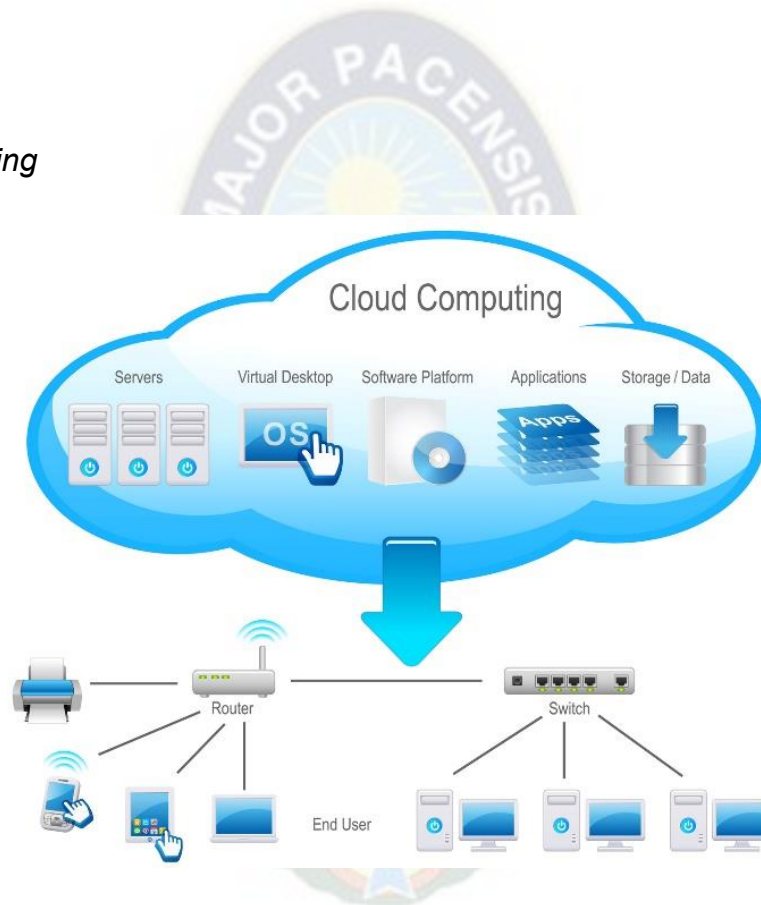
2.6. Cloud Computing

La computación en la nube es un modelo que permite el acceso fácil, escalable y seguro a una variedad de recursos informáticos configurables, como redes, servidores,

almacenamiento, aplicaciones y servicios. Estos recursos pueden ser proporcionados y gestionados de manera rápida y eficiente con una intervención mínima o nula por parte del proveedor de servicios. Este enfoque ofrece flexibilidad y agilidad a las organizaciones, permitiéndoles adaptar sus recursos de TI según sus necesidades cambiantes sin tener que preocuparse por la gestión de infraestructura física. (Buyya, Vecchiola, & Selvi, Mastering Cloud Computing, 2013).

Figura 2.14

Cloud Computing



Nota.: [Rubicon ,2015]

2.6.1. Tipos de nube

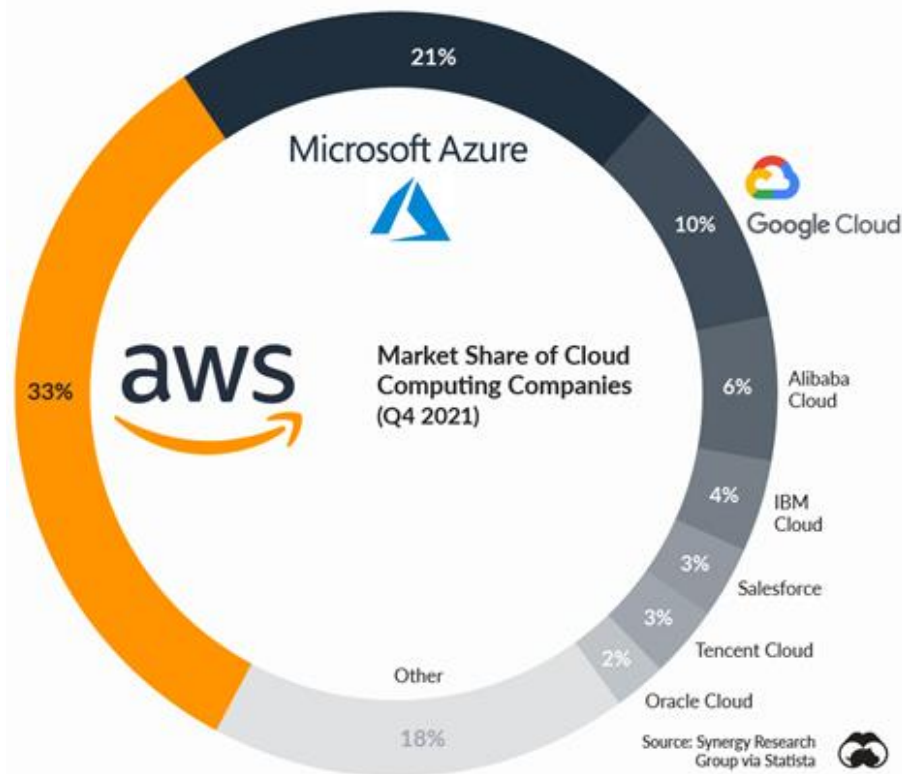
Existen varios tipos de nubes informáticas que se utilizan para proporcionar servicios y recursos en línea. Los tipos principales de nubes son (Archer, Cullinane, & Kurtz, 2011):

Nube Pública (Public Cloud):

En una nube pública, los servicios y recursos informáticos se ofrecen a través de Internet por parte de un proveedor de servicios en la nube. Estos servicios están disponibles para el público en general y son gestionados por el proveedor. Ejemplos de proveedores de nube pública incluyen Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure y Google Cloud Platform (GCP).

Figura 2.15

Principales proveedores de nubes publicas



Nota.: Synergy Research Group via Statista2021

Nube Privada (Private Cloud):

En una nube privada, los servicios y recursos informáticos se utilizan exclusivamente por una organización específica o entidad. Puede ser gestionada internamente por la

organización o por un proveedor externo. Una nube privada ofrece mayor control y seguridad, lo que la hace adecuada para organizaciones con requisitos de cumplimiento o seguridad estrictos.

Nube Híbrida (Hybrid Cloud):

Una nube híbrida es una combinación de nubes públicas y privadas que están interconectadas y permiten la transferencia de datos y aplicaciones entre ellas. Esto proporciona mayor flexibilidad y permite a las organizaciones aprovechar la escalabilidad y los recursos de la nube pública mientras mantienen el control de datos críticos en su nube privada.

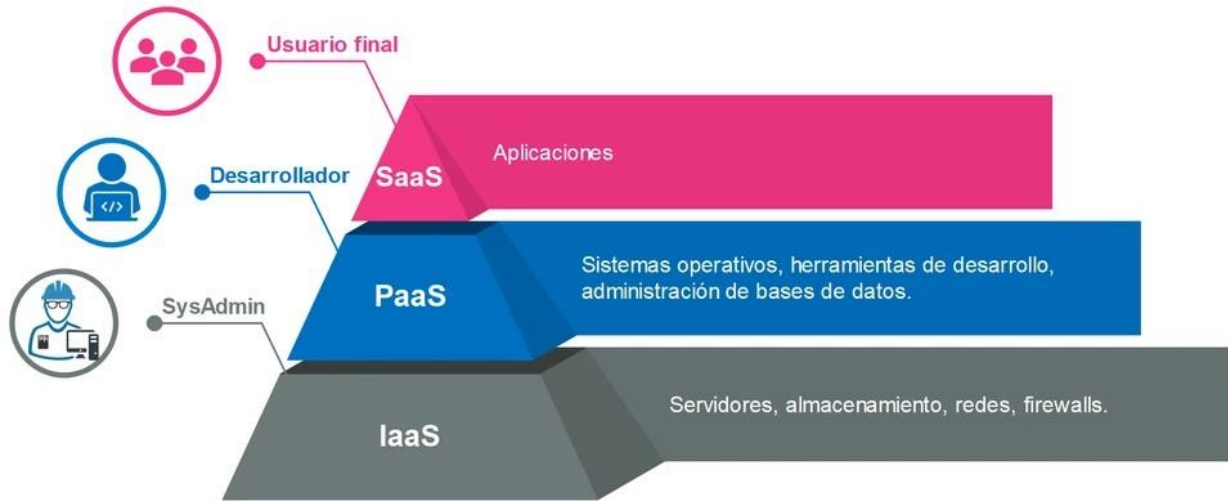
2.6.2. Servicios de la nube

Desde la perspectiva del usuario, los servicios en la nube funcionan de manera similar a los servicios básicos del hogar, como el suministro de agua o electricidad. Esto significa que el usuario utiliza el servicio de la nube según sus necesidades sin preocuparse por la ubicación física de las instalaciones que lo respaldan. Lo único en lo que debe pensar en un servicio en la nube es en el método de pago, en caso de que haya alguno, y en tener acceso a Internet para utilizar y acceder a esos servicios de manera conveniente. En otras palabras, la nube ofrece una experiencia de usuario simplificada y flexible, donde los recursos informáticos y los servicios se ponen a disposición de manera transparente, similar a cómo se proporcionan los servicios públicos esenciales. (Buyya, Vecchiola, & Selvi, Mastering Cloud Computing, 2013).

Los servicios en la nube se dividen en tres modelos distintos desde la perspectiva del proveedor. (Zhao, Sark, & Liu, 2014):

Figura 2.16

Servicios de Cloud Computing



Nota.: [Cloud Computing: Tipos de nubes, servicios y proveedores,2021]

- **Infraestructure as a Service (IaaS):**

En el modelo IaaS, el proveedor de servicios en la nube ofrece recursos informáticos fundamentales, como servidores virtuales, almacenamiento y redes, como servicios escalables. Los usuarios pueden acceder y utilizar estos recursos para crear sus propias infraestructuras de TI según sea necesario. Esto permite a las organizaciones evitar la gestión de hardware físico y escalar recursos de manera eficiente. (IBM,2022)

- **Platform as a Service (PaaS):**

En el modelo PaaS, el proveedor de servicios en la nube ofrece una plataforma de desarrollo completa que incluye herramientas, servicios y entornos de ejecución para que los desarrolladores creen, implementen y gestionen aplicaciones. Los usuarios de PaaS se centran en el desarrollo de aplicaciones

y no tienen que preocuparse por la infraestructura subyacente, como servidores o sistemas operativos. (IBM,2022)

- **Software as a Service (SaaS):**

En el modelo SaaS, los proveedores ofrecen aplicaciones y software completos como un servicio alojado en la nube. Los usuarios acceden a estas aplicaciones a través de la web y las utilizan según sea necesario. No es necesario instalar ni mantener software en dispositivos locales, ya que todo se gestiona en la nube. Ejemplos comunes de SaaS incluyen aplicaciones de productividad como Google Workspace (anteriormente G Suite) y servicios de correo electrónico basados en la nube como Gmail. (RedHat,2021)





CAPÍTULO III

MARCO PRÁCTICO Y

METODOLOGÍA

CAPÍTULO III. MARCO PRÁCTICO Y METODOLOGÍA

3.1. Diseño del Escenario de Pruebas

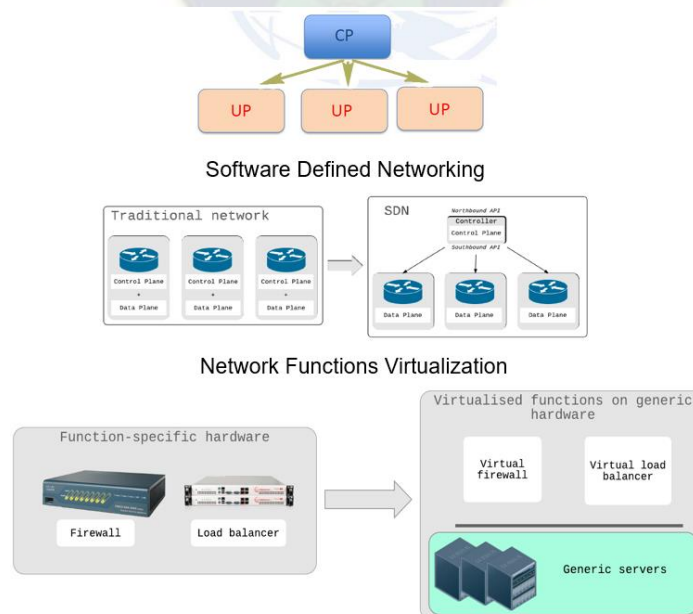
El diseño de escenarios de prueba proporciona un enfoque para evaluar la UPF 5G virtualizada en un entorno de Cloud Computing, mencionado escenario debe adaptarse según las especificaciones y requisitos exactos del proyecto garantizando una evaluación completa y precisa de las soluciones.

3.1.1. Separación de Plano de Usuario y Plano de Control

Para lograr el desarrollo del diseño, inicialmente se deben de cumplir los principios de las Redes Definidas por Software SDN y los principios de la Virtualización de Funciones de Red NFVs, por lo tanto, la arquitectura de una UPF tradicional, debe distribuirse, separando el plano de usuario y el plano de control (Figura 3.1).

Figura 3.1

Separación de Plano de Control y Plano de Usuario

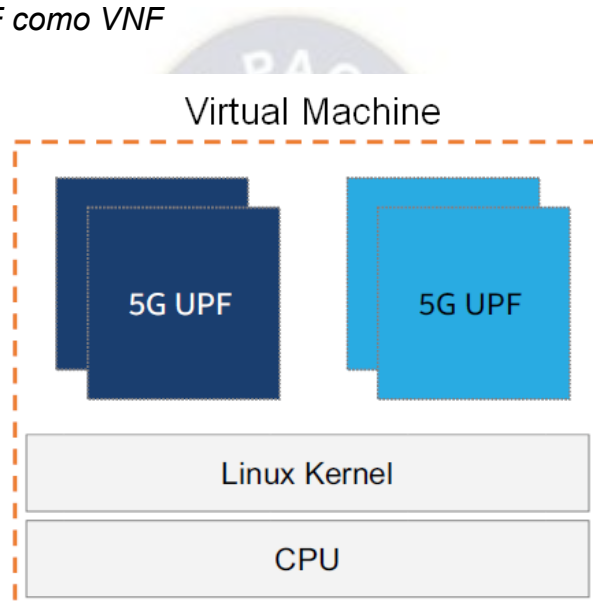


Nota.: [Elaboracion Propia]

Teniendo en cuenta los criterios de SDN y NFV, la función de red UPF, se monta en una máquina virtual (VM), desde la cual, podremos programar, controlar y gestionar directamente los recursos de la UPF como VNF, facilitando la operación de servicios de red de una manera dinámica y escalable.

Figura 3.2

Esquema de 5G UPF como VNF



Nota.: [Elaboracion Propia]

3.1.2. Infraestructura Cloud

Definido el esquema de la UPF 5G, procedemos a escoger la infraestructura cloud en la que se montará la VM, para este propósito se opta por la nube publica de AWS, que es líder en el mercado debido a su amplia gama de servicios, infraestructura global, redundancia de datos, baja latencia, alta disponibilidad, pago por uso, etc.

Figura 3.3

Beneficios de la nube AWS



Nota.: [5 motivos para utilizar cloud computing, Ed.teams/AWS,2020]

Una vez definida la nube, procedemos a escoger la instancia con las características suficientes, que nos permitirán montar la VM que contendrá la UPF 5G, para este propósito escogemos la instancia EC2 (Elastic Compute Cloud) de AWS.

Figura 3.4

Características de la instancia EC2

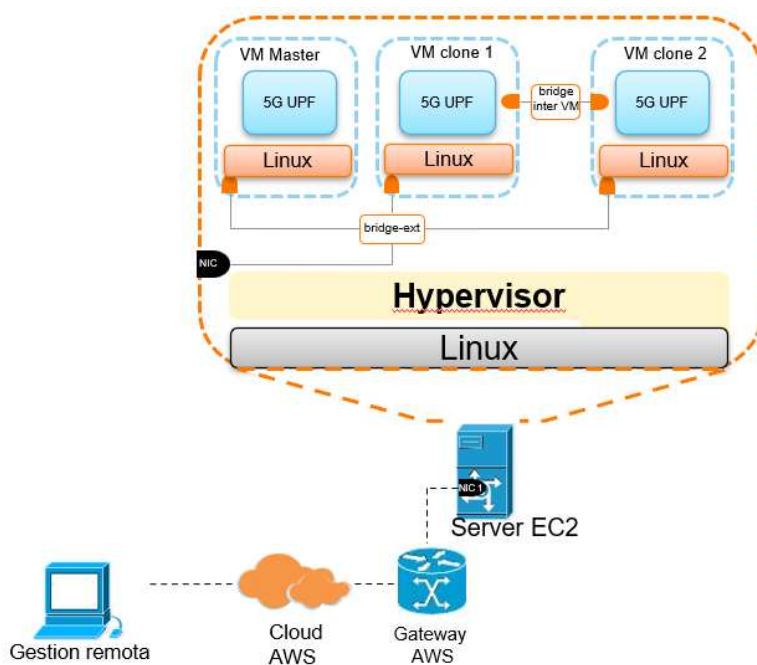
Processor	Product	Intel® Xeon® Platinum 8180 processor
	Frequency	2.5 GHz
	Cores per processor	28 cores/56 hyperthreads
Memory	DIMM slots per processor	6 channels per processor
	Capacity	192 GB
	Memory speed	2667 MHz, DDR4
Network	Number of ports	8 x 25 GbE using prototype FPGA-based SmartNIC from Intel 2 x 25 GbE using on board LOM
1U Server	Vendor	HPE* ProLiant DL360 Gen 10
Host OS	Vendor/version	Wind River* OVP6
KVM	Vendor/version	CentOS*-6.8 generic cloud image

Nota.: [EC2 Intel Xeon Platinum 8180, AWS 2023]

Para conectarnos a la instancia utilizamos el protocolo de escritorio remoto (RDP), con el cual logramos acceder de manera ágil a la instancia EC2, con el propósito de programar y preparar la máquina virtual que contendrá la UPF 5G.

Figura 3.5

Esquema de conexión y gestión EC2



Nota.: [Elaboracion Propia]

Una vez comprobada la conexión y habilitación del servidor EC2, empezamos a ingresar las líneas de código, que nos servirán para preparar las máquinas virtuales y de esa forma proceder con la instalación de la UPF 5G.

Figura 3.6

Instalación de librerías

```
//Paquetes reueridos para Plano de Control
$ sudo apt -y update
$ sudo apt -y install mongodb wget git
$ sudo systemctl start mongodb

// Paquetes requeridos para Plano de Usuario
$ sudo apt -y update
$ sudo apt -y install git gcc cmake autoconf libtool pkg-config libmnl-dev libyaml-dev
$ go get -u github.com/sirupsen/logrus

//Configuraciones de red
$ sudo sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1
$ sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -o <dn_interface> -j MASQUERADE
$ sudo systemctl stop ufw
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.7

Instalación de entidades de Plano de Control

```
$ cd ~/free5gc
$ git checkout master
$ git submodule sync
$ git submodule update --init --jobs `nproc`
$ git submodule foreach git checkout master
$ git submodule foreach git pull --jobs `nproc`
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.8

Instalación de módulo de Linux kernel 5G GTP-U

```
$ git clone -b v0.1.0 https://github.com/Prinz0w0/gtp5g.git
$ cd gtp5g
$ make
$ sudo make install
$ cd ~/free5gc/src/upf
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ..
$ make -j`nproc`
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Una vez concluida la instalación de las librerías principales de las máquinas virtuales, se procede con la instalación de la función de red virtualizada UPF 5G.

Figura 3.9

Instalación de VNF UPF 5G

```
import (
    "math/rand"
    "os"
    "runtime/debug"
    "time"

    "github.com/urfave/cli"

    "github.com/free5gc/go-upf/internal/logger"
    upfapp "github.com/free5gc/go-upf/pkg/app"
    "github.com/free5gc/go-upf/pkg/factory"
    logger_util "github.com/free5gc/util/logger"
    "github.com/free5gc/util/version"
)

func main() {
    defer func() {
        if p := recover(); p != nil {
            // Print stack for panic to log. Fataf() will let program exit.
            logger.MainLog.Fatalf("panic: %v\n%s", p, string(debug.Stack()))
        }
    }()

    app := cli.NewApp()
    app.Name = "upf"
    app.Usage = "5G User Plane Function (UPF)"
    app.Action = action
    app.Flags = []cli.Flag{
        cli.StringFlag{
            Name: "config, c",
            Usage: "Load configuration from `FILE`",
        },
        cli.StringSliceFlag{
            Name: "log, l",
            Usage: "Output NF log to `FILE`",
        },
    }

    // rand.Seed(time.Now().UnixNano()) // rand.Seed has been deprecated
    randSeed := rand.New(rand.NewSource(time.Now().UnixNano()))
    randSeed.Uint64()

    if err := app.Run(os.Args); err != nil {
        logger.MainLog.Errorf("UPF Cli Run Error: %v", err)
    }
}

func action(cliCtx *cli.Context) error {
    err := initLogFile(cliCtx.StringSlice("log"))
    if err != nil {
        return err
    }

    logger.MainLog.Infof("UPF version: ", version.GetVersion())

    cfg, err := factory.ReadConfig(cliCtx.String("config"))
    if err != nil {
        return err
    }

    upf, err := upfapp.NewApp(cfg)
    if err != nil {
        return err
    }

    if err := upf.Run(); err != nil {
        return err
    }

    return nil
}

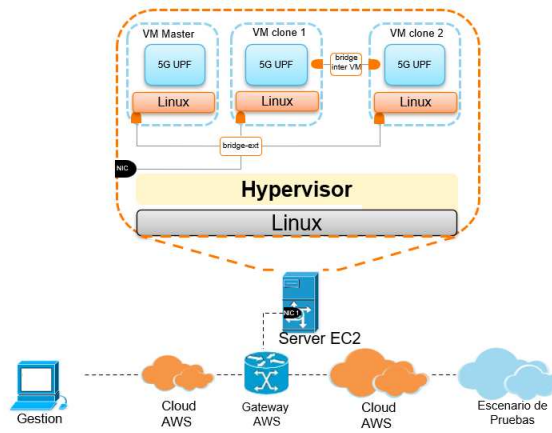
func initLogFile(logNfPath []string) error {
    for _, path := range logNfPath {
        if err := logger_util.LogFileHook(logger.Log, path); err != nil {
            return err
        }
    }
}
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Concluida la instalación y programación de la UPF virtualizada, según el criterio del esquema cloud AWS, se crea y diseña el escenario de pruebas, con el cual se comprobará las funciones de la UPF.

Figura 3.10

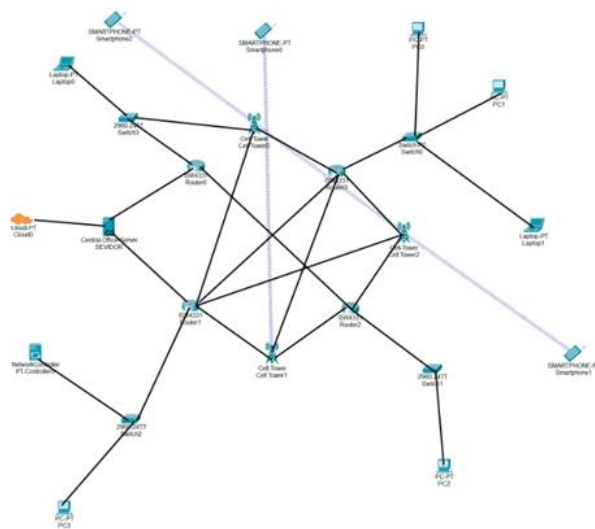
Esquema de gestión Cloud AWS UPF virtualizada



Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.11

Escenario de Pruebas



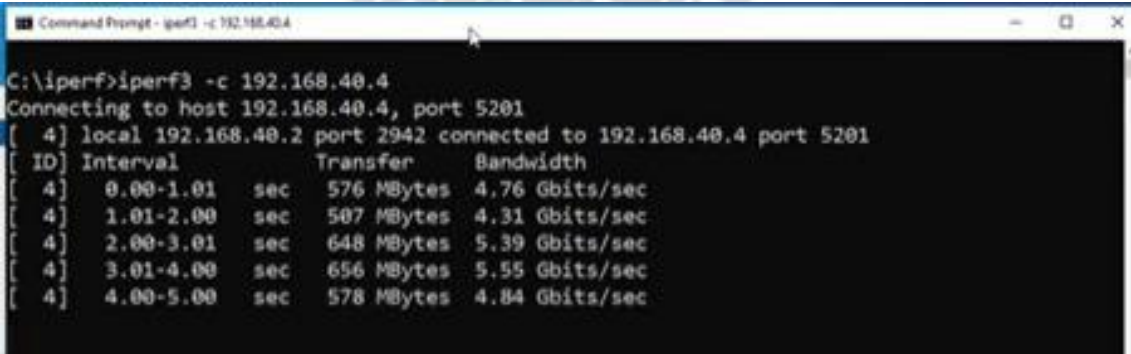
Nota.: [Elaboracion Propia]

Escenario De Prueba 1: Evaluación del Rendimiento bajo Carga Normal

En el primer escenario de prueba, se busca evaluar el rendimiento de la UPF 5G virtualizada bajo condiciones normales de carga. La configuración implica establecer una carga de tráfico que simule un escenario típico de uso, definiendo métricas clave como latencia y tasa de transferencia como criterios de éxito. Durante la ejecución, se monitorea el rendimiento de la UPF, registrando y analizando las métricas en diversos puntos de la infraestructura de la nube. Los resultados esperados incluyen confirmar que la UPF mantiene un rendimiento aceptable bajo condiciones de carga usuales, así como la identificación de posibles áreas de mejora y la detección de posibles cuellos de botella en la infraestructura virtualizada.

Figura 3.12

Evaluación del Rendimiento bajo Carga Normal



```
Command Prompt - iperf3 -c 192.168.40.4
C:\iperf>iperf3 -c 192.168.40.4
Connecting to host 192.168.40.4, port 5201
[ 4] local 192.168.40.2 port 2942 connected to 192.168.40.4 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4]  0.00-1.01   sec    576 MBytes  4.76 Gbits/sec
[ 4]  1.01-2.00   sec    507 MBytes  4.31 Gbits/sec
[ 4]  2.00-3.01   sec    648 MBytes  5.39 Gbits/sec
[ 4]  3.01-4.00   sec    656 MBytes  5.55 Gbits/sec
[ 4]  4.00-5.00   sec    578 MBytes  4.84 Gbits/sec
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

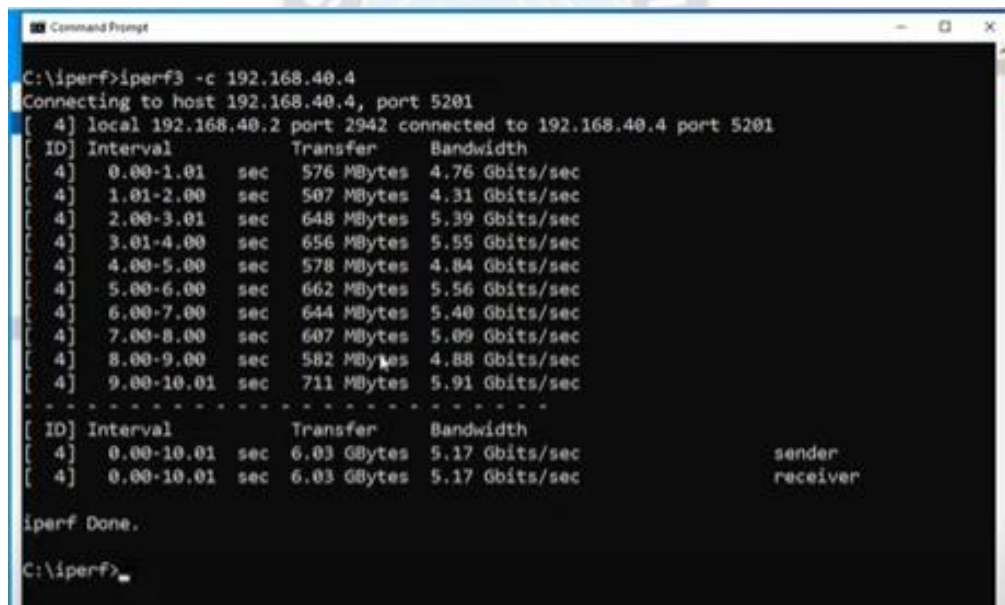
Escenario De Prueba 2: Evaluación de Escalabilidad Horizontal

El enfoque se centra en evaluar la capacidad de la UPF 5G virtualizada para escalar horizontalmente y gestionar un aumento en el número de usuarios simultáneos. La configuración implica el incremento gradual de la carga de trabajo para simular un

aumento en el tráfico, junto con la adición de instancias de la UPF según sea necesario. Durante la ejecución, se evalúa el rendimiento a medida que la carga aumenta y se agregan recursos, verificando la capacidad de la UPF para escalar y mantener un rendimiento óptimo. Los resultados esperados comprenden la confirmación de la capacidad de la UPF para escalar horizontalmente y manejar eficientemente un mayor número de usuarios, así como la identificación de posibles degradaciones en el rendimiento durante el proceso de escalabilidad.

Figura 3.13

Lista por terminar 1



```
C:\iperf>iperf3 -c 192.168.40.4
Connecting to host 192.168.40.4, port 5201
[ 4] local 192.168.40.2 port 2942 connected to 192.168.40.4 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec  576 Mbytes  4.76 Gbits/sec
[ 4] 1.01-2.00 sec  507 Mbytes  4.31 Gbits/sec
[ 4] 2.00-3.01 sec  648 Mbytes  5.39 Gbits/sec
[ 4] 3.01-4.00 sec  656 Mbytes  5.55 Gbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec  578 Mbytes  4.84 Gbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec  662 Mbytes  5.56 Gbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  644 Mbytes  5.40 Gbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec  607 Mbytes  5.09 Gbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec  582 Mbytes  4.88 Gbits/sec
[ 4] 9.00-10.01 sec 711 Mbytes  5.91 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 6.03 Gbytes  5.17 Gbits/sec
[ 4] 0.00-10.01 sec 6.03 Gbytes  5.17 Gbits/sec
iperf Done.
C:\iperf>
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Escenario De Prueba 3: Pruebas de Resiliencia y Recuperación ante Fallos

En el tercer escenario de prueba, se pretende evaluar la resiliencia y la capacidad de recuperación de la UPF 5G virtualizada frente a fallos o interrupciones. La

configuración involucra la introducción controlada de fallos, como la pérdida de nodos de la nube o la interrupción infraestructura de servicios críticos. Durante la ejecución, se observa la respuesta de la UPF ante estos fallos, evaluando el tiempo de recuperación y verificando la eficacia de la conmutación por error y la redundancia. Los resultados esperados abarcan la confirmación de la resiliencia de la UPF frente a situaciones de fallo, su capacidad para recuperarse sin pérdida significativa de datos, y la documentación detallada del tiempo de recuperación y las acciones tomadas durante y después de los fallos controlados.

Figura 3.14

Lista por terminar 2

```

Command Prompt - iperf3 -c 192.168.40.4 -t 60
[ 4] 14.00-15.00 sec 612 MBytes 5.14 Gbits/sec
[ 4] 15.00-16.01 sec 559 MBytes 4.67 Gbits/sec
[ 4] 16.01-17.00 sec 640 MBytes 5.40 Gbits/sec
[ 4] 17.00-18.00 sec 659 MBytes 5.53 Gbits/sec
[ 4] 18.00-19.00 sec 674 MBytes 5.65 Gbits/sec
[ 4] 19.00-20.00 sec 614 MBytes 5.15 Gbits/sec
[ 4] 20.00-21.00 sec 564 MBytes 4.73 Gbits/sec
[ 4] 21.00-22.01 sec 627 MBytes 5.23 Gbits/sec
[ 4] 22.01-23.00 sec 663 MBytes 5.59 Gbits/sec
[ 4] 23.00-24.02 sec 649 MBytes 5.36 Gbits/sec
[ 4] 24.02-25.01 sec 640 MBytes 5.40 Gbits/sec
[ 4] 25.01-26.02 sec 621 MBytes 5.18 Gbits/sec
[ 4] 26.02-27.00 sec 599 MBytes 5.11 Gbits/sec
[ 4] 27.00-28.00 sec 627 MBytes 5.26 Gbits/sec
[ 4] 28.00-29.00 sec 579 MBytes 4.86 Gbits/sec
[ 4] 29.00-30.00 sec 631 MBytes 5.27 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-30.00 sec 17.7 Gbytes  5.07 Gbits/sec
[ 4] 0.00-30.00 sec 17.7 Gbytes  5.07 Gbits/sec
iperf Done.

C:\iperf>iperf3 -c 192.168.40.4 -t 60
Connecting to host 192.168.40.4, port 5201
[ 4] local 192.168.40.2 port 2950 connected to 192.168.40.4 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec 669 MBytes  5.53 Gbits/sec
[ 4] 1.01-2.00 sec 605 MBytes  5.15 Gbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec 676 MBytes  5.66 Gbits/sec
[ 4] 3.00-4.01 sec 573 MBytes  4.76 Gbits/sec

```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.15

Resultados Visual



Nota.: [Elaboracion Propia]

Escenario De Prueba 4: Pruebas de Seguridad y Protección contra Amenazas

El enfoque se dirige hacia la evaluación de la seguridad y la capacidad de protección contra amenazas de la UPF 5G virtualizada. La configuración implica la implementación de escenarios de prueba de penetración que simulan posibles amenazas, así como la verificación de la implementación de políticas de seguridad en el entorno de la nube. Durante la ejecución, se evalúa la resistencia de la UPF ante intentos de intrusión y ataques, verificando la eficacia de las medidas de seguridad implementadas. Los resultados esperados comprenden la confirmación de la resistencia de la UPF frente a amenazas comunes, la identificación de áreas de mejora en la seguridad y la proposición de medidas correctivas para fortalecer la postura de seguridad de la UPF virtualizada.

Figura 3.16

Configuración de Firewall

```
# Listar reglas del firewall
sudo iptables -L

# Permitir tráfico de entrada en el puerto 443
sudo iptables -A INPUT -p tcp --dport 443 -j ACCEPT

# Denegar todo el tráfico de entrada por defecto
sudo iptables -A INPUT -j DROP

# Guardar reglas para que persistan después del reinicio
sudo iptables-save > /etc/iptables/rules.v4
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.17

Configuración de AppArmor (perfil de seguridad de aplicaciones)

```
# Listar perfiles de AppArmor
sudo apparmor_status

# Crear y cargar un nuevo perfil para una aplicación específica
sudo aa-genprof /ruta/de/tu/aplicacion
sudo aa-enforce /etc/apparmor.d/tu-aplicacion
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.18

Configuración de Seguridad en Red (Network Security)

```
# Habilitar medidas de seguridad avanzadas en la red
sudo sysctl -w net.ipv4.tcp_syncookies=1

# Limitar el número máximo de conexiones concurrentes
sudo sysctl -w net.core.somaxconn=1000
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

3.2. Configuración y Despliegue de la Visualización UPF 5G

La configuración y despliegue de la visualización de la User Plane Function (UPF) 5G se lleva a cabo de manera meticulosa para garantizar un monitoreo efectivo de la red. Se comienza identificando los requisitos del sistema, asegurándose de que los recursos de la infraestructura de la nube sean adecuados. Luego, se seleccionan herramientas de visualización que se alineen con la arquitectura de la UPF y proporcionen información esencial sobre el rendimiento y la salud de la red. La configuración de parámetros de monitoreo y la integración con la infraestructura de cloud son pasos cruciales, junto con la implementación de medidas de seguridad para proteger la visualización. Posteriormente, se despliega la configuración, se realizan pruebas exhaustivas y se optimiza continuamente para mejorar la eficiencia. Este proceso se documenta detalladamente para facilitar referencias futuras y garantizar una gestión efectiva de la visualización de la UPF 5G.

Figura 3.19

Símbolo del Sistema

```
C:\Users\BIOSPC>
sh -c "echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward"
ip tuntap add name ogstun mode tun
ip addr add 192.168.141.193/28 dev ogstun
ip addr fd84:6aea:c36e:2b69::/64 dev ogstun
ip link set ogstun mtu 1400
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.20

Configuración e Instalación de Librerías 1

```
# this file is autogenerated by make modules-cfg

# the list of sub-directories with modules
modules_dirs:=modules

# the list of module groups to compile
cfg_group_include=

# the list of extra modules to compile
include_modules= cdp cdp_avp db_mysql dialplan ims_auth ims_charging ims_dialog ims_diameter_server
ims_icscf ims_ipsec_pcscf ims_isc ims_ocs ims_qos ims_registrar_pcscf ims_registrar_scscf
ims_usrloc_pcscf ims_usrloc_scscf outbound presence presence_conference presence_dialoginfo
presence_mwi presence_profile presence_reginfo presence_xml pua pua_bla pua_dialoginfo pua_reginfo
pua_rpc pua_usrloc pua_xmpp sctp tls utils xcap_client xcap_server xmlops xmllrpc

# the list of static modules
static_modules=

# the list of modules to skip from compile list
skip_modules=

# the list of modules to exclude from compile list
exclude_modules= acc_json acc_radius app_java app_lua app_lua_sr app_mono app_perl app_python
app_python3 app_ruby auth_ephemeral auth_identity auth_radius cnxcc cplc crypto db2_ldap
db_berkeley db_cassandra db_mongodb db_oracle db_perlvdb db_postgres db_redis db_sqlite db_unixodbc
dnssec erlang evapi geoip geoip2 gzcompress h350 http_async_client http_client jansson janssonrpc
json jsonrpc kafka kazoo lcr ldap log_systemd lost memcached misc_radius ndb_cassandra ndb_mongodb
ndb_redis nsq osp peering phonenum pua_json rabbitmq regex rls rtp_media_server snmpstats
systemdops topos_redis uuid websocket xhttp_pi xmpp $(skip_modules)

modules_all= $(filter-out modules/CVS,$(wildcard modules/*))
modules_noinc= $(filter-out $(addprefix modules/, $(exclude_modules) $(static_modules)), $
(modules_all))
modules= $(filter-out $(modules_noinc), $(addprefix modules/, $(include_modules) )) $
(modules_noinc)
modules_configured:=1
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.21

Configuración e Instalación de Librerías 2

```
/* uncomment the next line to disable the auto discovery of local aliases
 * based on reverse DNS on IPs (default on) */
auto_aliases=no

/* add local domain aliases */
alias="ims.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org"

/* uncomment and configure the following line if you want Kamailio to
 * bind on a specific interface/port/proto (default bind on all available) */
listen=udp:192.168.141.11:5060 advertise 192.168.141.5:5060
listen=tcp:192.168.141.11:5060 advertise 192.168.141.5:5060
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.22

Configuración e Instalación de Librerías 3

```

$ORIGIN ims.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org.
$TTL 1W
@                1D IN SOA    localhost. root.localhost. (
                    1          ; serial
                    3H          ; refresh
                    15M         ; retry
                    1W          ; expiry
                    1D )        ; minimum

ns                1D IN NS    ns
                  1D IN A    192.168.141.11

pcscf
_sip_udp.pcscf   1D IN A    192.168.141.11
_sip_tcp.pcscf   1D SRV 0 0 5060 pcscf

icscf
_sip_udp         1D IN A    192.168.141.11
_sip_tcp         1D SRV 0 0 4060 icscf

scscf
_sip_udp.scscf   1D IN A    192.168.141.11
_sip_tcp.scscf   1D SRV 0 0 6060 scscf

hss               1D IN A    192.168.141.11

```

Nota.: [Elaboracion Propia]

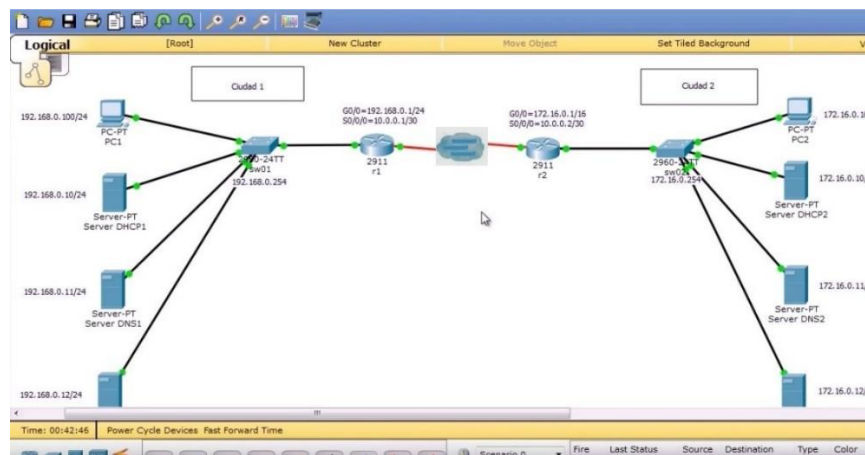
3.3. Despliegue y Simulación de la Red

El despliegue y la simulación de la red constituyen fases fundamentales en la implementación efectiva de una infraestructura de comunicaciones. En esta etapa, se lleva a cabo la configuración e implementación de los componentes de red necesarios para la funcionalidad óptima de la User Plane Function (UPF) 5G. Esto implica la asignación de recursos en la infraestructura de cloud, la instalación y configuración de los nodos de red, así como la conexión y configuración de enlaces de comunicación. Además, se emplean herramientas de simulación para reproducir escenarios de tráfico y evaluar el rendimiento del sistema en condiciones controladas. Durante este proceso, se ajustan parámetros clave, como la latencia y el ancho de banda, para validar la capacidad de la red 5G virtualizada y asegurar que cumpla con los requisitos de

servicio previstos. La documentación detallada de la configuración, los resultados de simulación y cualquier ajuste realizado proporciona una referencia crucial para la gestión continua y la optimización de la red.

Figura 3.23

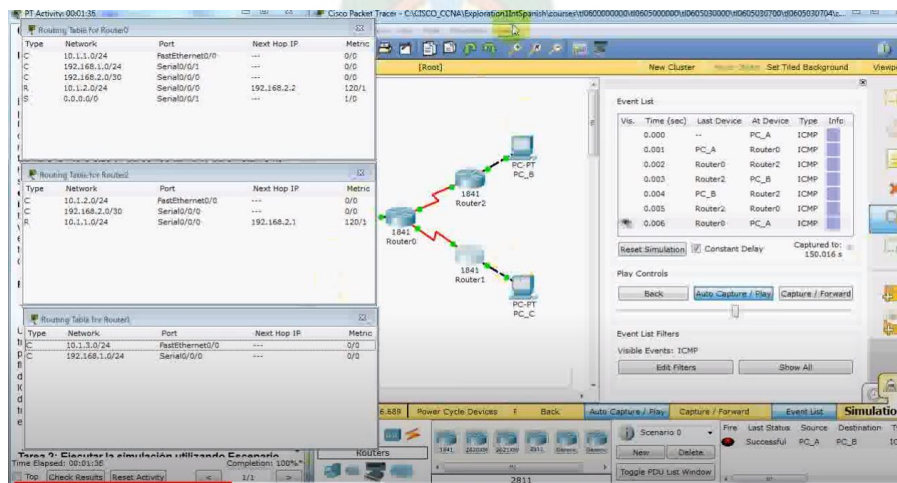
Despliegue de la red



Nota.: [Elaboracion Propia]

Figura 3.24

Simulación de la red



Nota.: Elaboracion Propia



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y EVALUACIÓN

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

4.1. Evaluación del desempeño de la abstracción en nube publica

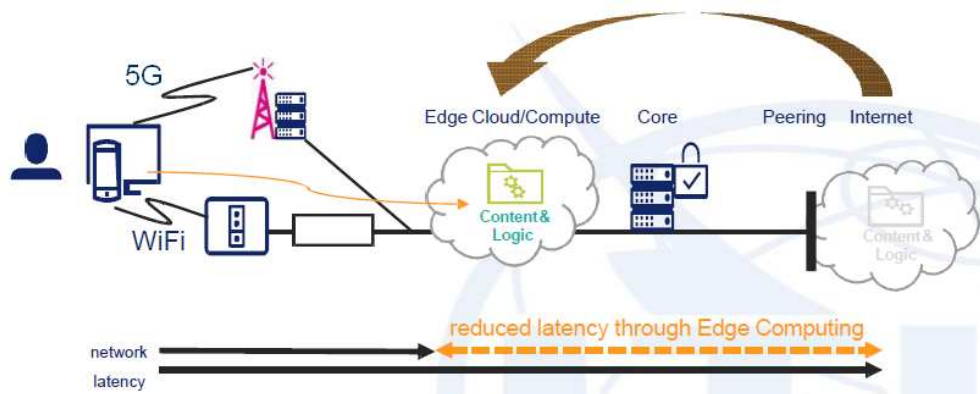
La evaluación del desempeño de la abstracción en la nube pública en el contexto del diseño de una UPF 5G virtualizada se presenta como un componente crítico para garantizar el funcionamiento eficiente y confiable de la red.

La abstracción en la nube permite una asignación eficiente de recursos, evitando subutilización o sobreutilización, y garantizando así un equilibrio óptimo que optimice los costos operativos.

La latencia es otro factor crucial que se evalúa meticulosamente. Dado que la UPF 5G es esencial para la gestión del tráfico y la minimización de la latencia en las comunicaciones, la infraestructura de la nube pública debe ser capaz de ofrecer tiempos de respuesta bajos y predecibles.

Figura 4.1

Beneficios de la abstracción



Nota.: [Edge Cloud Computing benefits, Progress of 5G studies ITU 2020]

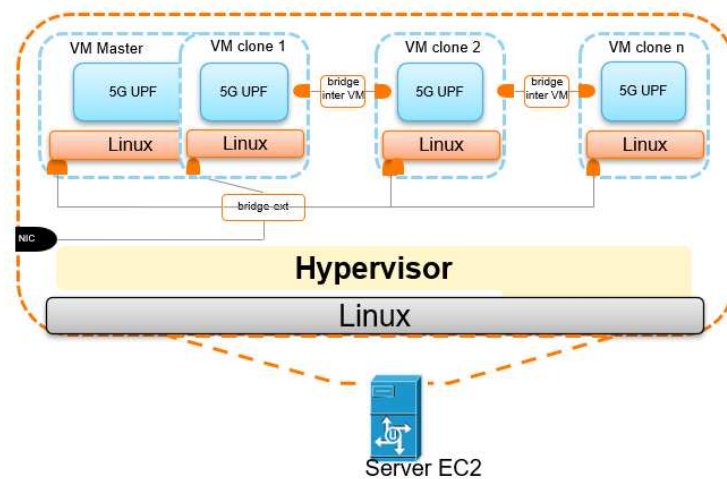
4.2. Evaluación de desempeño de la UPF virtualizada

La evaluación de desempeño de la User Plane Function (UPF) virtualizada en el contexto de una red 5G se lleva a cabo considerando varios parámetros fundamentales que afectan directamente a su rendimiento y eficacia operativa.

En primer lugar, se analiza la escalabilidad de la UPF virtualizada. La capacidad de la UPF para adaptarse a cambios en la carga de trabajo y manejar un mayor número de conexiones simultáneas es crucial para garantizar un rendimiento constante y eficiente. Se evalúa la capacidad de la virtualización para escalar vertical y horizontalmente, asegurando que la UPF pueda manejar picos de tráfico sin degradación significativa en el rendimiento. Esto debido a la flexibilidad que nos brinda el server EC2 de AWS, el cual nos permite aumentar o disminuir las máquinas virtuales a medida que la carga de trabajo así lo requiera.

Figura 4.2

Escalabilidad horizontal de la UPF Virtualizada



Nota.: [Elaboracion Propia]

La eficiencia en el uso de recursos también es evaluada. La virtualización de la UPF debe asegurar una asignación eficiente de recursos, minimizando el desperdicio y optimizando el rendimiento general.

La monitorización y la capacidad de gestión son cruciales. Se evalúa la facilidad con la que se pueden supervisar y gestionar las instancias de UPF virtualizadas. Esto incluye la capacidad de escalar o desescalar según sea necesario, así como la capacidad de realizar actualizaciones y mantenimiento de manera eficiente.

4.2.1. Evaluación de velocidad de despliegue

La evaluación de la velocidad de despliegue en el diseño de una User Plane Function (UPF) 5G virtualizada en un entorno de cloud computing es esencial para determinar la eficiencia y agilidad en la implementación de esta infraestructura crítica de red. En este análisis, se consideran varios factores que afectan directamente la rapidez con la que la UPF puede ser implementada y puesta en funcionamiento.

En primer lugar, se examina la capacidad de la infraestructura de cloud computing para proporcionar recursos de manera rápida y eficiente. La velocidad con la que se pueden aprovisionar y asignar los recursos necesarios para la virtualización de la UPF es crucial para minimizar el tiempo de inactividad y garantizar una respuesta ágil a las demandas cambiantes de la red.

Figura 4.3

Velocidad de despliegue



```
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  4] 0.00-10.01 sec  6.03 GBytes 5.17 Gbits/sec  sender
[  4] 0.00-10.01 sec  6.03 GBytes 5.17 Gbits/sec  receiver
```

Nota.: [Elaboracion Propia]

La automatización juega un papel fundamental en la velocidad de despliegue. La automatización no solo acelera el despliegue, sino que también reduce la posibilidad de errores manuales, mejorando la confiabilidad del sistema.

Asimismo, se considera la capacidad de realizar actualizaciones y parches de manera eficiente. La UPF virtualizada debe permitir la implementación rápida de actualizaciones de software y parches de seguridad sin afectar la continuidad del servicio. Esta capacidad es esencial para garantizar que la infraestructura esté siempre actualizada y protegida.

4.2.2. Evaluación del Throughput y Gestión de Tráfico

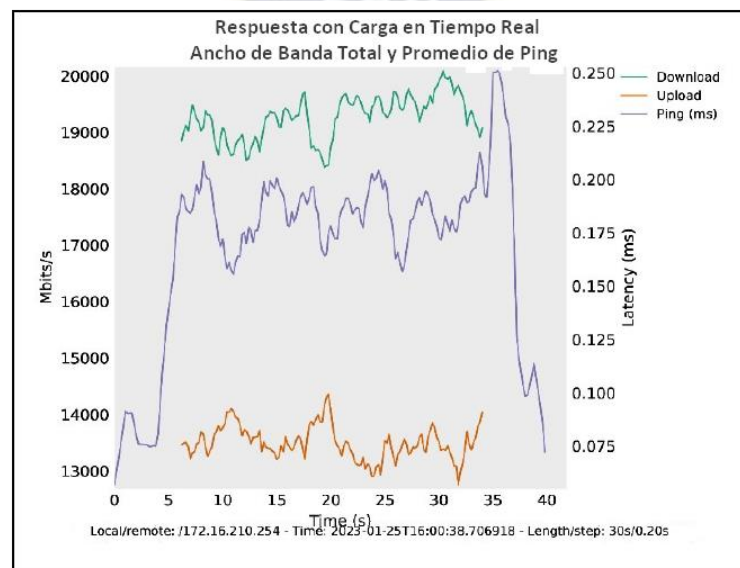
La evaluación del throughput en el diseño de una User Plane Function (UPF) 5G virtualizada, es esencial para determinar la capacidad de la infraestructura virtualizada para manejar el volumen de datos y el tráfico de manera eficiente.

En primer lugar, se examina la capacidad de procesamiento de la UPF virtualizada. Esto implica evaluar la eficiencia de los recursos computacionales asignados a la UPF

para realizar las funciones de procesamiento de paquetes de datos de manera rápida y sin cuellos de botella. Como resultado se obtiene un throughput en el procesamiento de paquetes de datos de 19 Gbps de bajada y 17 Gbps de subida en promedio bajo carga total de la red simulada, y una latencia de ping menor a los 0.1 ms.

Figura 4.4

Throughput DL/UL y latencia de procesamiento de datos



Nota.: [Elaboracion Propia]

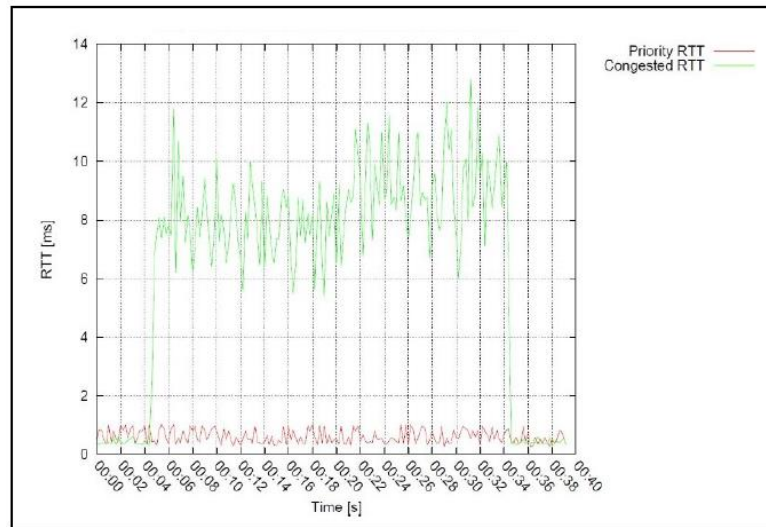
4.2.3. Baja latencia

La evaluación de la latencia en el diseño de la UPF virtualizada en Cloud computing es otro aspecto crucial en la gestión de la latencia en las comunicaciones 5G, por lo que se examina cómo la virtualización impacta en los tiempos de procesamiento y en la entrega de datos. La optimización de la latencia es esencial para garantizar una experiencia de usuario sin interrupciones, especialmente en aplicaciones y servicios sensibles a la latencia como los servicios de tercera fase del 5g como URLCC y MEC.

Para evaluar la latencia de la UPF virtualizada, se utiliza como factor de medida el RTT (Round-Trip Time), que es el tiempo que tarda un paquete de datos enviado desde un emisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino. La UPF registró una latencia en escenarios de prioridad menor a 1ms y una latencia promedio de 9ms en escenarios de alta carga.

Figura 4.5

Comparación de latencia RTT con carga congestionada



Nota.: [Elaboracion Propia]

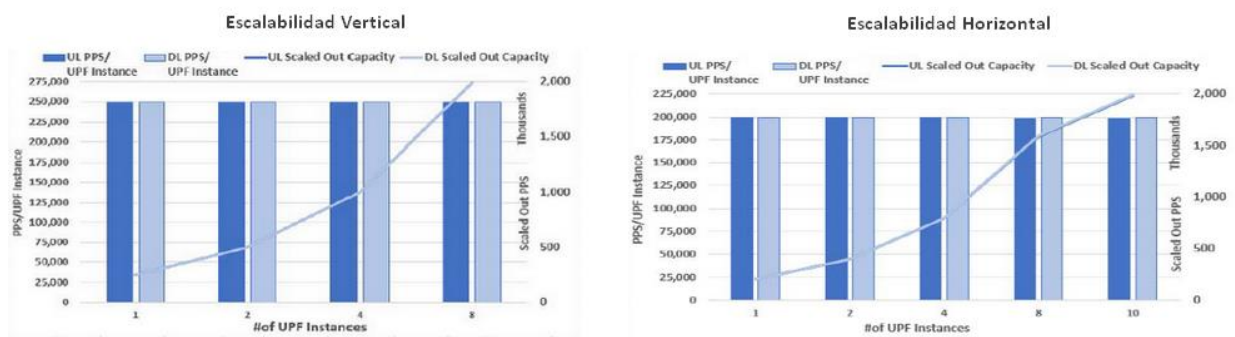
4.2.4. Alta capacidad para escalar

En el diseño de una Función de Plano de Usuario (UPF) 5G virtualizada en un entorno de Cloud Computing, se destaca la capacidad sobresaliente para escalar, fundamental para adaptarse eficazmente a las demandas dinámicas de las redes de quinta generación. La virtualización de la UPF se centra en la implementación independiente de funciones de red en recursos virtualizados, aprovechando plenamente las ventajas de la nube para garantizar una escalabilidad excepcional.

La arquitectura se ajusta a los estándares y protocolos 5G, priorizando una alta capacidad de procesamiento y distribución de datos para responder a las necesidades cambiantes del sistema. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite una adaptación ágil a las exigencias de tráfico y servicios.

Figura 4.6

Desempeño de la escalabilidad en la UPF Virtualizada en AWS



Nota.: [Elaboracion propia, Dashboard de la EC2 Cloud AWS]

4.2.5. Eficiencia energética

En el diseño de una Función de Plano de Usuario (UPF) 5G virtualizada en un entorno de Cloud Computing, se pone un énfasis destacado en la eficiencia energética, reconociendo su importancia para optimizar el rendimiento y reducir el impacto ambiental. La arquitectura Cloud Computing se orienta hacia la minimización del consumo de energía sin comprometer el rendimiento, integrando tecnologías y prácticas que permiten una operación sostenible, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono asociadas a las infraestructuras de red 5G tradicionales.

Al diseñar la UPF virtualizada en el entorno de nube AWS, se reduce el uso de energía en más de un 80%, con la utilización de la infraestructura como servicio (IaaS) que ofrece AWS, específicamente la instancia EC2 que se utilizó para el propósito del proyecto. La eficiencia energética se logra a partir de la reducción del uso de energía del 68% de media en la infraestructura de servidores tradicionales y el 13% de media en la infraestructura de los centros de datos de una arquitectura tradicional 5G.

Figura 4.7

Eficiencia energética con la nube AWS



Nota.: [AWS Clean Energy Acelerator2.0, AWS Galp, 2022]

4.2.6. Seguridad

En el diseño de la UPF 5G virtualizada en un entorno de Cloud Computing, se concede una atención primordial a la seguridad, reconociendo su papel crucial en la protección de datos sensibles y la integridad de la red. Se aborda con un enfoque integral, implementando medidas robustas de cifrado, autenticación y control de acceso para salvaguardar la confidencialidad de la información transmitida. Se adoptan prácticas de aislamiento y monitoreo continuo para mitigar amenazas y vulnerabilidades.

La arquitectura del proyecto se adapta a los estándares de seguridad 5G, garantizando la integridad y autenticidad de las comunicaciones. Este enfoque proactivo no solo protege contra posibles ataques, sino que también fortalece la confianza en la infraestructura de la UPF virtualizada.

Figura 4.8

Seguridad de red y límite de conexiones recurrentes

```

2nqo 2λ2cƒJ -m uef.cole.zowaxcoun=J000
# ΓIWIƒeλ eJ nqmwero m2xTmo qe conexToues concurenfes

2nqo 2λ2cƒJ -m uef.ƒbvq.ƒcb_2λucokTese=J
# H2pTJƒƒeλ meqTq2e qe 2e8nTq2q2 2λ2u22q2e eλ J9 λe2
    
```

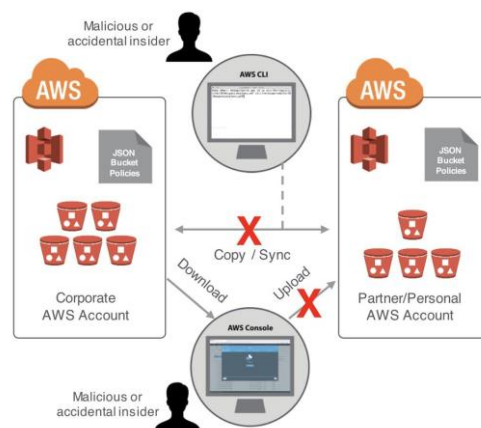
Nota.: [Elaboracion Propia]

Adicionalmente la infraestructura de nube de AWS nos brinda una capa extra de seguridad, con los servicios contra intrusión que ofrece la plataforma.

Figura 4.9

Protección contra intrusos AWS

Insider Threat Protection



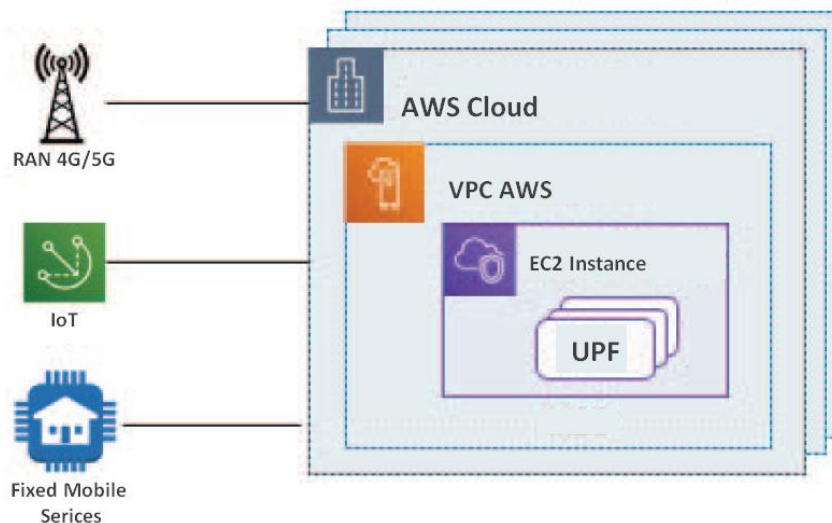
Nota.: [Insider threat protection, AWS Security, 2021]

4.2.7. Interoperabilidad

En el diseño de una Unidad de Procesamiento de Funciones (UPF) 5G virtualizada en un entorno de Cloud Computing, se concede un énfasis significativo a la interoperabilidad para garantizar la integración fluida con diversos componentes y sistemas. La virtualización de la UPF en la nube de AWS se abordó considerando estándares abiertos y protocolos comunes, facilitando la colaboración y la compatibilidad con otras infraestructuras de red. La arquitectura se adapta a entornos heterogéneos, permitiendo una interconexión eficiente con tecnologías existentes y futuras. Este enfoque no solo fomenta la flexibilidad y la escalabilidad, sino que también facilita la coexistencia armoniosa con soluciones de diversos proveedores.

Figura 4.10

Interoperabilidad de tecnologías y proveedores



Nota.: [Elaboracion propia]

4.3. Evaluar los beneficios en los servicios de Tercera fase del 5G.

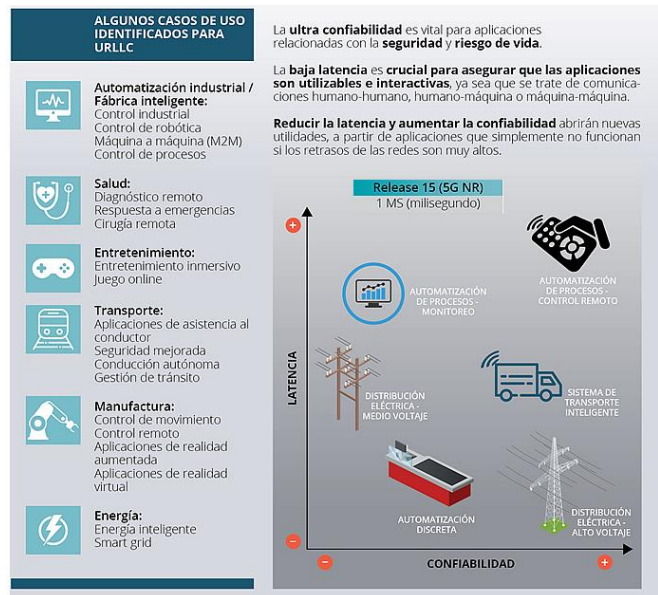
Para la evaluación de los beneficios de la UPF virtualizada en los servicios de 3ra fase del 5G, implica considerar los impactos positivos que la virtualización puede tener en estos escenarios críticos de la red. La UPF virtualizada facilita la implementación de servicios Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC) y Multi-Access Edge Computing (MEC), sin depender de infraestructuras físicas específicas, lo que brinda a los operadores de red la capacidad de optimizar recursos y responder rápidamente a cambios en los requisitos del servicio.

En el caso de URLLC, la virtualización de la UPF presenta beneficios significativos en términos de latencia y confiabilidad. La capacidad de escalar de manera dinámica y asignar recursos de manera eficiente en una infraestructura virtualizada contribuye a la reducción de la latencia, que en el caso de las pruebas realizadas a la UPF virtualizada, se obtuvo latencias menores a 1ms, lo cual es fundamental para satisfacer los rigurosos requisitos de URLLC. Además, la flexibilidad de despliegue rápido y la capacidad de gestionar el tráfico de manera eficiente son aspectos que mejoran la fiabilidad de las comunicaciones ultraconfiables.

Entre los beneficios y casos de uso de URLLC al obtener latencias menores a 1, incluyen vehículos autónomos, comunicación entre vehículos, salud inteligente (cirugía a distancia), infraestructura en ferrocarril y transporte, industria 4.0, seguridad en misiones y aplicaciones críticas

Figura 4.11

Aplicaciones URLCC con latencias menores a 1ms

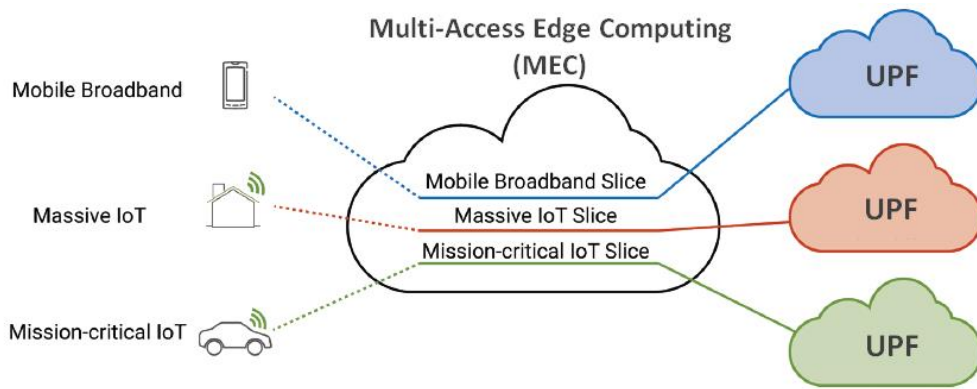


Nota.: [Que es URLCC?, 5G las Americas, 2019]

En el contexto de MEC, la virtualización de la UPF ofrece ventajas notables en términos de proximidad y distribución de servicios. Al desplegar instancias virtualizadas de la UPF en la proximidad de los usuarios y dispositivos, se logra una menor latencia en el procesamiento de datos, lo que es crucial para aplicaciones sensibles al tiempo, como el procesamiento de datos en el borde de la red. Además, la capacidad de escalar y adaptarse rápidamente a las demandas específicas de servicios MEC contribuye a una entrega eficiente de servicios de computación en el borde.

Figura 4.12

Beneficios de MEC con múltiples UPFs



Nota.: [Elaboracion propia]

La flexibilidad y adaptabilidad inherentes a la virtualización también se traducen en beneficios operativos. La UPF virtualizada facilita la implementación de servicios URLLC y MEC sin depender de infraestructuras físicas específicas, lo que brinda a los operadores de red la capacidad de optimizar recursos y responder rápidamente a cambios en los requisitos del servicio.

Aplicación: En data centers dedicados de telefónicas nacionales

El proyecto brinda un enfoque novedoso para la planificación de capacidad para redes centrales de telecomunicaciones en la nube pública. Proporcionando una arquitectura de referencia para implementar la infraestructura de red central de telecomunicaciones en la nube de AWS.

Una ampliación de patrones de diseño de UPFs con procesamiento de paquetes híbridos, permitirá a los operadores de telecomunicaciones implementar VNFs del Core 5G mediante métodos de ampliación dentro del umbral de eficiencia de rendimiento.



CAPÍTULO IV

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que las tecnologías como SDN y NFV, liberan el potencial del 5G, permitiendo una mayor flexibilidad en su despliegue, una gestión más eficiente de los recursos, optimizando el rendimiento y reduciendo los costos asociados. En contraste una arquitectura 5G tradicional on-premise, limita su escalabilidad, presentan un mayor coste de despliegue, actualización y mantenimiento.
- Se demostró que la abstracción de la arquitectura 5G, es posible mediante el uso de tecnologías como Cloud Computing, SDN y NFV, nos permiten separar los planos de usuario y control, lo que aumenta la flexibilidad, mejora la escalabilidad, permite innovar, modificar y gestionar la complejidad de la red 5G con mayor facilidad.
- Se concluye que la virtualización en la UPF 5G en un entorno de Cloud Computing ofrece escalabilidad y flexibilidad superiores. La capacidad de adaptarse a la demanda cambiante, escalar recursos de manera dinámica, su arquitectura flexible y modular facilita la integración de avances tecnológicos, asegurando que la red esté preparada para evolucionar con los cambios en el panorama de las comunicaciones inalámbricas
- El diseño propuesto utilizando una nube publica como la de AWS, nos permite implementar infraestructuras y servicios 5G, con una distribución eficiente de recursos, minimizando la latencia y mejorando la experiencia del usuario en aplicaciones y servicios sensibles al tiempo. Esto debido a la amplia gama de servicios de computación, redes, almacenamiento, seguridad y operaciones para crear arquitecturas híbridas que ofrece AWS.

- Por último, se destaca que la virtualización de la UPF presenta beneficios significativos en términos de latencia y confiabilidad. Lo cual es fundamental para satisfacer los rigurosos requisitos de URLLC y MEC.

5.2. Recomendaciones

- Establecer un sistema de monitoreo continuo es crucial para evaluar el rendimiento de la UPF 5G en la nube. La implementación de herramientas de monitoreo avanzadas permitirá la detección temprana de posibles problemas, facilitando una respuesta proactiva y garantizando la disponibilidad constante de los servicios.
- Se sugiere llevar a cabo una evaluación regular de los recursos asignados para garantizar una óptima utilización. La optimización continua de la capacidad de la nube y la asignación eficiente de recursos aseguran un rendimiento máximo a la par que minimizan los costos asociados.
- Mantener la UPF 5G y el entorno de Cloud Computing actualizados con las últimas actualizaciones y parches de seguridad es esencial. Esto ayuda a cerrar posibles brechas de seguridad, mejorar el rendimiento y garantizar la compatibilidad con las últimas tecnologías y estándares de la industria.
- Desarrollar e implementar una estrategia de respuesta ante fallos es crucial. La virtualización y la nube pueden presentar desafíos únicos en términos de recuperación de desastres, por lo que contar con un plan detallado para abordar posibles interrupciones asegura la continuidad del servicio y minimiza el tiempo de inactividad.

BIBLIOGRAFÍA

- A. L. V. Caraguay, «SDN/NFV Architecture for IoT Networks,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/327908723_SDN_NFV_Architecture_for_IoT_Networks.
- GIGA-BYTE Technology Co., Ltd, «An Autonomous Vehicles Network with 5G URLLC Technology,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.gigabyte.com/Solutions/Networking/urllc>.
- Huawei Technologies Co. Ltd., «HCIA-5G V1.0 H35-660 Training Material - H35-660-ENU,» 2019.
- M. Carugi, «Progress of 5G studies in ITU-T: Overview of SG13 standardization activities,» ITU-T Q20/13 Associate Rapporteur and SG13, June 2018. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20180604/Documents/Session1.pdf>.
- 5G-PPP vision and mission, [En línea]. Available: <https://5g-ppp.eu/about-us/>.
- 3GPP, System architecture for the 5G System (5GS), Technical Specification (TS) 23.501, versión 15.5.0 (03 2019).
- ETSI, Network Functions Virtualization (NFV); Use Cases, Tech. Rep. GS NFV 001, v1.1.1 (10 2013).
- 3GPP, Management and orchestration; Concepts, use cases and requirements, Technical Specification (TS) 28.530, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), version 15.1.0 (12 2018).
- OpenWebinars S.L, «Cloud Computing: Tipos de nubes, servicios y proveedores,» 2021. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/tipos-de-cloud-computing/>.

- Red Hat Inc., ¿«What is NFV?,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.redhat.com/es/topics/virtualization/what-is-nfv>.
- Red Hat, Inc., ¿«What is cloud infrastructure?,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-computing/what-is-cloud-infrastructure>.
- VIAVI Solutions Inc., 2021. [En línea]. Available: <https://www.viavisolutions.com/es-es/arquitectura-de-la-tecnologia-5g>.
- Lei, W., Soong, A. C., Jianghua, L., Yong, W., Classon, B., Xiao, W., . . . Saboorian, T. (2021). 5G System design. Waterloo: Springer.
- Lin, X., & Lee, N. (2021). 5G and Beyond. Pohang: Springer.
- Marriwala, N., Tripathi, C., & Kumar, D. (201). Mobile Radio Communications and 5G Networks. Springer.
- Matlab. (2022). Mathworks. Obtenido de <https://www.mathworks.com/>
- Peterson, L., & Oguz, S. (2020). 5G Mobile Networks: A Systems Approach. Springer.
- Raghunandan, K. (2022). Introductions to Wireless Communications and Networks. Cham: Springer.
- Rodriguez, J. (2015). Fundamentals of 5G Mobile Networks. West Sussex: Wiley.
- Shetty, R. S. (2021). 5G Mobile Core Network. Bangalore: Apress.
- Yang, Y., Xu, J., Shi, G., & Cheng-Xiang, W. (2018). 5G Wireless Systems. Springer.
- Zhao, L., Zhao, H., Zheng, K., & Xiang, W. (2018). Massive MIMO in 5G Networks.

Freddy Alejandro Ortiz Mueza

ing.freddy.ortiz@gmail.com

79544838



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2024-TTES-456-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1424/2024 La Paz, 10 de mayo de 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 06 de mayo de 2024, por FREDDY ALEJANDRO ORTIZ MUEZA con C.I. N° 6827224 LP, con número de trámite DA 785/2024, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "DISEÑO DE UNA UPF 5G VIRTUALIZADA EN UN ENTORNO DE CLOUD COMPUTING", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes



Oficina Central - La Paz Av. Morales, N° 576, entre Esq. Uruguay y C. Batallón Illimani, Telfs.: 2145700 2119209 - 2119251

Oficina - Santa Cruz Av. Uruguaya, Calle prolongación Quijano, N° 79, Edif. Bicentenario, Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba Calle Bolívar, N° 757, entre 16 de Julio y Antezona, Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto Av. Juan Pablo II, N° 2500 Edif. Majestic El Cerro Lda. Piso 2, Of. 5B, Zona 16 de Julio, Telfs.: 2741001 - 72043029

Oficina - Chapaca Calle Rómulo Betancourt, N° 364 casi esq. Urdinola, Zona Parque Bolívar, Telf.: 72005873

Oficina - Tarija Av. La Paz, entre Calles Ciro Trigo y Avellaneda, Edif. Santa Clara, N° 242, Telf.: 72018206

Oficina - Sucre Calle 6 de Octubre, N° 5837, entre Ayoacachi y Juanis, Galería Central, Of. 14, Telf.: 6201286

Oficina - Potosí Av. Villazón entre calles Wenceslao Alza y San Alberto, Edif. AM, Salinas N° 142, Primer Piso, Of. 17, Telf.: 72018160

www.senapi.gob.bo



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UNA UPF 5G VIRTUALIZADA EN UN ENTORNO DE CLOUD COMPUTING"** a favor del autor y titular: **FREDDY ALEJANDRO ORTIZ MUEZA** con C.I. N° **6827224 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese. Comuníquese y Archívese.

CASA/m

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA



CfeAp3Qs10q39M

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2116075 - 2116231

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 25, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121152 - 72042956

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 1a de Julio y Antezorúa.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. MultiCentro El Ceibo
Lado: Piso 2, Of. 5B,
Zona 1a de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Alvarado 7, N° 366
caso esq. Urublogopita,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Oro Yégo y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 240.
Telf.: 72015206

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, N° 5837,
entre Apacocha
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 6201288

Oficina - Potosí
Av. Villarroel entre calles
Wenceslao Albo y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 240,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160

www.senapi.gob.bo

