



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL USO
DE LAS TECNOLOGÍAS SOFTWARE DEFINED
NETWORKING Y NETWORK FUNCTION
VIRTUALIZATION EN REDES LTE 4G”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

CARLOS LUIS DEIDÁN ARREAGA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas en mi vida, y por colocar en ella a personas que me han brindado sus enseñanzas para ser cada día mejor.

Un agradecimiento especial al Dr. Diógenes Marcano que, como director de este trabajo de titulación, me ha apoyado, orientado y corregido en mi labor de investigación.

Al Dr. Boris Ramos, coordinador de la maestría, por sus valiosos consejos y apoyo.

Y finalmente, a mi querida familia por ser el motor que me impulsa a seguir enfrentado nuevos retos.

DEDICATORIA

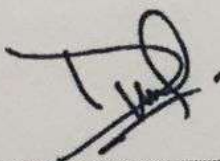
El presente trabajo quiero dedicarlo a mi familia, a mi amada esposa Sandra, por su apoyo incondicional, siempre alentándome cada día a ser una mejor persona, esposo, padre y profesional. A mis queridos hijos Zahid y Jared, que son los mejores regalos que he recibido.

A mis padres que me moldearon en la persona que soy ahora, y que gracias a ellos he alcanzado muchas de mis metas.

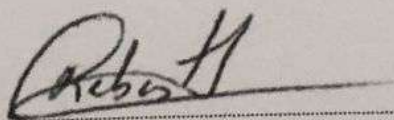
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



PhD. César Martín M.
SUBDECANO DE LA FIEC



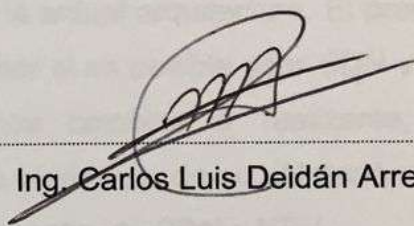
PhD. Diógenes Marcano
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



PhD. Rebeca Estrada P.
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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



.....
Ing. Carlos Luis Deidán Arreaga.

RESUMEN

En la actualidad los operadores móviles están presenciando un rápido incremento tanto a nivel de suscriptores registrados como aplicaciones móviles desarrolladas, que han conllevado a un aumento exponencial en el tráfico de datos. El 3GPP en respuesta ante esta demanda, desarrolló una nueva tecnología de banda ancha inalámbrica denominada LTE 4G que, aunque ha aportado una mejor transferencia de datos, no ofrece un despliegue rápido y fácil de los servicios sin traer mayor complejidad a la red. Con el propósito de resolver esta limitante y a su vez, convertirla en una red dinámica y flexible, nuevas tecnologías como Software Defined Networking (SDN) y Network Function Virtualization (NFV) se han presentado como alternativas para el rediseño de la actual arquitectura. El presente estudio realiza una investigación a fin de determinar si es posible usar SDN y NFV en la arquitectura LTE 4G, cuáles serán los cambios a realizarse, sus requerimientos, y los beneficios o mejoras que se obtendrán de su utilización, para esto se presentará una propuesta en donde ha sido aplicado SDN y NFV.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Metodología	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Arquitectura y elementos funcionales de LTE: eNodeB, S-GW, MME, PDN-GW.....	4
2.1.1 Introducción.....	4
2.1.2 Arquitectura de LTE	5
2.1.3 Elementos funcionales de LTE.....	7
2.1.4 El plano de control y el plano de usuario: arquitectura protocolos y funciones.....	9
2.2 Fundamentos de las Redes definidas por software	13
2.2.1 Definición de SDN.....	14
2.2.2 Arquitectura de SDN	14
2.2.3 Interfaces	17

2.3 Fundamentos de la Virtualización de funciones de red	18
2.3.1 Definición de NFV	18
2.3.2 Arquitectura de NFV	18
2.4 SDN y NFV en redes LTE 4G	21
2.4.1 Alternativas de ubicación del controlador SDN en una red LTE 4G	21
2.4.2 Funciones de la red de Acceso que pueden virtualizarse	23
2.4.3 Funciones de la red Central que pueden virtualizarse	24
CAPÍTULO 3.....	27
3. ARQUITECTURA PROPUESTA DE SDN Y NFV A LTE 4G	27
3.1 Arquitectura lógica y física propuesta de LTE 4G con SDN y NFV..	27
3.2 Funciones de LTE 4G donde se propone implementar SDN y NFV	31
3.3 El plano de control y el plano de usuario con SDN y NFV	34
3.4 El Evolved Packet Core (EPC) con SDN y NFV	35
CAPÍTULO 4.....	38
4. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA INCLUYENDO SDN Y NFV	38
4.1 Beneficios para los usuarios y para los operadores de redes LTE 4G	38
4.2 Comparación de la arquitectura propuesta con soluciones disponibles en el mercado para SDN y NFV.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54

CAPÍTULO 1

1. MARCO REFERENCIAL

Una red definida por software (Software Defined Network, SDN) es un concepto que plantea separar los planos de control y datos en las redes de telecomunicación, centralizando toda la inteligencia en un solo lugar, con el fin de mejorar su eficiencia, reducir costos y aumentar la flexibilidad. Por otra parte, la virtualización de funciones de red (Network Function Virtualization, NFV) tiene como propósito el desacoplar la función de red de su hardware dedicado, a través de su implementación por software, logrando así, que esta se ejecute en ambientes virtuales.

1.1 Identificación del problema

La evolución a largo plazo (Long Term Evolution, LTE) es la cuarta generación de la telefonía móvil, creada en respuesta ante la creciente demanda de transmisión de datos en esta tecnología. Con cada nueva versión liberada por el 3GPP, se observa el surgimiento de nuevas funcionalidades, protocolos e interfaces, sin alterar su arquitectura base que es completamente IP. Con las propuestas ofrecidas de SDN y NFV, nace la idea de estudiar su aplicación en las redes móviles y observar las ventajas y desventajas que se pueden obtener con su uso, al mismo tiempo, nos permitirá despejarnos de una serie de interrogantes como, por ejemplo, los elementos funcionales de LTE en donde se aplicaría, modificaciones a realizarse sobre la actual estructura, interoperabilidad con las redes actuales, entre otros. Los operadores móviles se encuentran muy interesados de los beneficios que se pueden obtener de su uso, pero aún no tienen totalmente claro cómo aplicarlos en sus operaciones.

En este trabajo se plantea realizar el estudio de factibilidad en las redes LTE 4G, es decir, al final del mismo, se espera determinar si las tecnologías recomendadas se pueden implementar en las funciones de red de acceso, transporte, central, o todas. Al mismo se cuantificará los beneficios y mejoras que se obtendrían de su implementación. Para cumplir con estos requerimientos es necesario estudiar en detalles:

- La arquitectura de LTE 4G.
- La arquitectura de SDN.
- La arquitectura de NFV.
- Los elementos del plano de control de LTE 4G donde pueden instalarse SDN y NFV.

1.2 Justificación

Los beneficios de aplicar las redes definidas por software y la virtualización de funciones de red puede verse reflejado en el usuario final y en los operadores móviles. En ese sentido es de gran importancia caracterizar el proceso de implementación de SDN y NFV en LTE 4G y determinar el impacto de estas tecnologías en la arquitectura de LTE 4G. Este proceso abarca la red de acceso, el backhaul y la central de la red.

1.3 Objetivos

En los siguientes apartados se detallan el objetivo general y los específicos del presente proyecto de titulación.

1.3.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad de utilizar las tecnologías Software Defined Network (SDN) y Network Function Virtualization (NFV) en las redes LTE 4G.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la arquitectura LTE 4G basada en el Release 12 de la 3GPP.
- Estudiar el estado actual de las tecnologías SDN y NFV.
- Realizar un análisis de los nodos funcionales de LTE 4G más viable de aplicar SDN y NFV.
- Proponer una arquitectura para la red LTE 4G utilizando SDN y NFV.
- Describir los beneficios de la aplicación de SDN y NFV en LTE 4G.

1.4 Metodología

La metodología consiste en hacer un análisis de las diferentes redes y tecnologías involucradas en el proyecto.

- Estudiar los estándares del 3GPP Release 12 sobre la arquitectura de LTE.
- Estudiar los estándares del 3GPP Release 12 sobre los planos de control y de datos para entender los diferentes procesos que se realizan en ambos planos. Aquí es necesario analizar las funciones y los protocolos del plano de control y de datos en LTE 4G.
- Analizar detalladamente las arquitecturas de SDN y NFV y su estado de desarrollo actual. Este análisis debe incluir el estado del arte en ambas tecnologías en la industria de las telecomunicaciones móviles.
- Determinar en cuales nodos funcionales de la arquitectura de LTE 4G es factible implementar SDN y NFV. Se establecerán los cambios que deben introducirse en la arquitectura de LTE. Se determinarán cuales funciones que podrán ejecutarse con el apoyo de SDN y NFV.
- Diseñar un cuadro resumen que muestre los beneficios de implementar SDN y NFV en los nodos funcionales donde aplique.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Se presenta a continuación una introducción de la red LTE 4G, en donde se describe su arquitectura, elementos, interfaces y protocolos que la conforman, posteriormente se revisará los fundamentos de las tecnologías propuestas a ser aplicadas sobre la red móvil como son SDN y NFV.

2.1 Arquitectura y elementos funcionales de LTE: eNodeB, S-GW, MME, PDN-GW

En los siguientes apartados se abarcará los fundamentos de la red LTE 4G.

2.1.1 Introducción

La evolución a largo plazo (LTE - Long Term Evolution) representa a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil, definida por el Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP - 3rd Generation Partnership Project), que es una organización encargada de desarrollar especificaciones o estándares en las comunicaciones inalámbricas. Surgió como respuesta al creciente uso de datos móviles, esto además de seguir marcando una ventaja competitiva contra la aparición de otras tecnologías móviles como la interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMax - Worldwide Interoperability for Microwave Access). LTE nace con el cambio de modelo en los sistemas celulares, de una red conmutada por circuitos a una conmutada por paquetes, logrando brindar conectividad IP desde el dispositivo móvil a la red de datos por paquetes (PDN - Packet Data Network).

LTE tiene como objetivo evolucionar la red de acceso del sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS - Universal Mobile Telecommunications System), para lo cual, ha diseñado una arquitectura plana, basada completamente en el protocolo internet (IP - Internet Protocol), y que ofrezca una latencia reducida, permitiendo soportar servicios avanzados en tiempo real.

El sistema de paquetes evolucionado (EPS - Evolved Packet System) es la arquitectura transformada de la red 3G UMTS, formada por dos bloques, la evolucionada red de acceso radio terrestre UMTS (E-UTRAN - Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) que representa los elementos de la parte de acceso, y el sistema de paquetes evolucionado (EPC - Evolved Packet Core) que representa los elementos que conforman la red central. Para la 3GPP, el término LTE es utilizado para todo lo concerniente a los aspectos del radio acceso, mientras el término SAE, que responde a la evolución de arquitectura de sistema (System Architecture Evolution) a los temas no radio eléctricos.

2.1.2 Arquitectura de LTE

La nueva arquitectura debe cumplir con algunos requerimientos:

- La red de radio acceso (RAN – Radio Access Network) debe ser simplificada.
- Velocidades entre 100-150 Mbps en descarga y 50 Mbps en subida.
- Latencia menor a 100 milisegundos durante la configuración de la conexión [1]
- Latencia menor a 10 milisegundos en el plano de usuario [1]
- Interoperabilidad con sistemas 3GPP anteriores como 2G, 3G, así como sistemas no-3GPP.
- Red de transporte totalmente IP.

El 3GPP utilizó la arquitectura genérica sobre el cual desarrolló sus redes móviles 2G y 3G, la misma que se encuentra compuesta por tres partes: Equipo de usuario, red de acceso, y red central. La Figura 2.1 presenta el diseño de alto nivel de LTE en donde se observan los bloques que la componen, más adelante se revisará cada uno con más detalle.



Figura 2.1 Diseño de alto nivel de LTE

El equipo de usuario se encuentra compuesto por dos partes: el dispositivo móvil o terminal, y la tarjeta de circuito integrado universal (UICC - Universal Integrated Circuit Card) conocida en LTE como módulo de identidad del suscriptor universal (USIM - Universal Subscriber Identity Module) que contendrá información del usuario requerido para registrarse y acceder a los servicios de la red móvil [2].

La red de acceso de EPS conocida como E-UTRAN está compuesta por un solo elemento llamado nodo B evolucionado (eNodeB - Evolved Node B). Este elemento maneja dos interfaces, la primera es la interfaz radio utilizada para la comunicación con los dispositivos móviles, y la segunda interfaz utilizada para conectarse con la red central a través de una red de transporte IP.

La red central o núcleo del EPS llamado EPC es donde se implementan todas las funcionalidades ofrecidas al usuario, como conexión, movilidad, y facturación. Los elementos que componen el EPC son la entidad de gestión de movilidad (MME - Mobility Management Entity), la pasarela de servicio (SGW – Serving Gateway), la pasarela a la red de datos por paquetes (PGW – PDN Gateway), y la función de políticas y reglas de facturación (PCRF - Policy and Charging Rules Function).

En la Figura 2.2 se muestra todos los elementos que componen la arquitectura de LTE.

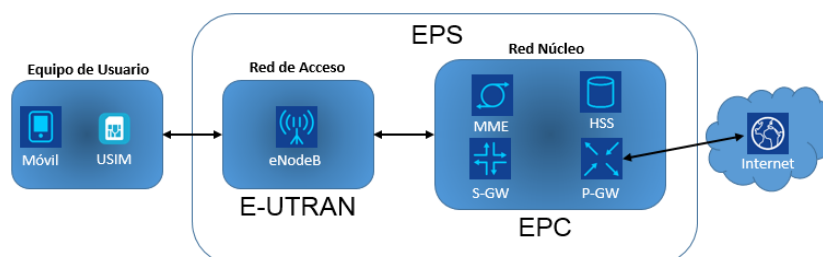


Figura 2.2 Elementos que componen la arquitectura LTE

2.1.3 Elementos funcionales de LTE

A continuación, se describirán cada uno de los componentes que conforman la solución de LTE [1].

- **Nodo B evolucionado (eNodeB)**

Este es el único componente definido como parte de E-UTRAN, el cual reemplaza a los elementos Nodo B y al controlador de la Red de Radio (RNC – Radio Network Controller) de la red móvil 3G. En este elemento se finaliza la interface radio incluyendo a la capa física. Un eNodeB puede manejar varias celdas.

Las funciones de un nodo eNodeB son las siguientes:

- Administración de recursos de radio.
- Control de admisión de radio.
- Asignación dinámica de recursos radio a los dispositivos móviles.
- Compresión y descompresión de cabecera IP.
- Seguridad en la capa de acceso: cifrado y protección de la integridad en la interfaz radio.
- Encaminamiento de los datos de usuario al SGW.
- Transmisión de los mensajes de localización originados por el MME
- Transmisión de información de difusión. Gestion de movilidad: traspasos entre eNodeB.

- Intercomunicación con elementos localizados en el EPC según su tipo de tráfico:
 - Plano de usuario con el SGW.
 - Plano de control con el MME.
- **Entidad de administración de movilidad (MME)**

Es el elemento de control que procesa la señalización entre el dispositivo móvil y la red núcleo.

Las funciones de un MME son las siguientes:

- Maneja el Plano de control en EPC.
- Administración de las listas de zona de seguimiento (TA - Tracking Area).
- Vincular y Desvincular suscriptores.
- Control de itinerancia.
- Seguridad (Autenticación, Cifrado, y protección de integridad).
- Selección del nodo servidor de soporte de GPRS (SGSN - Serving GPRS Support Node) en trasposos hacia redes 2G o 3G.
- Inicia y distribuye los mensajes de localización (paging) al eNodeB.
- **Pasarela de servicio (SGW)**

Este elemento actúa como un router de alto nivel, todos los paquetes IP generados por el usuario son transferidos a través de él.

Las funciones del SGW son las siguientes:

- Envía los datos entre el eNodeB y el PGW.
- Temporalmente almacena los datos de descarga del usuario mientras el MME inicia un paging al dispositivo móvil.
- Realiza funciones administrativas en la red tales como colección de información de facturación,

- Brinda la interoperabilidad con otras tecnologías de 3GPP tales como 2G y 3G.
- **Pasarela a la red de datos por paquetes (PGW)**

Este elemento es el punto de contacto con el mundo exterior, realizando intercambio de información con otras redes de datos. A cada red de datos se la conoce como nombre de punto de Acceso (APN – Access Point Name)

Las funciones del PGW son las siguientes:

- Asignación de direcciones IP a los dispositivos móviles.
- Responsable por la asignación de calidad de servicio (QoS, Quality of Service) para el tráfico de usuario descargado.
- Brinda la interoperabilidad con otras tecnologías no 3GPP tales como WiMAX y CDMA200.
- **Función de políticas y reglas de facturación (PCRF)**

El PCRF es un elemento que engloba las funcionalidades de decisión de control de políticas y control de cobro basado en flujo. Fue definido en el 3GPP TR 23.803 versión 7. Aunque no fue muy implementado en sistemas pre-LTE, es obligatorio ahora para LTE. La funcionalidad de PCRF fue mejorada en la versión 8 e incluye soporte para acceso no 3GPP (Wi-Fi o acceso de línea fija) a la red.

2.1.4 El plano de control y el plano de usuario: arquitectura protocolos y funciones

En la red móvil 4G LTE, existen dos tipos de tráfico. El plano de usuario (UP - User Plane) que representa la información originada por el usuario, y el plano de control (CP - Control Plane) que corresponde a la señalización entre los elementos funcionales. Todos interactuando con el fin de que el tráfico del usuario alcance su destino. La arquitectura LTE está conformada por varias interfaces, cada una con una nomenclatura diferente que ayuda a conocer el tipo de tráfico que manejan, y entre que

elementos está formado. En la Figura 2.3 se aprecia las interfaces definidas para LTE, así como el plano de control como el plano de usuario.

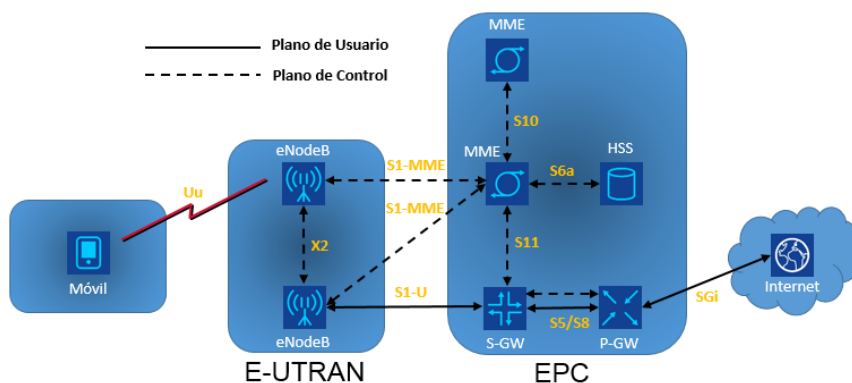


Figura 2.3 Plano de Control y Plano de Usuario en LTE

Como se aprecia en la última gráfica, cada interfaz involucra un conjunto de protocolos para la comunicación entre ambas partes. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

- **Protocolos en la interfaz Uu**

La interfaz Uu es la que está conformada entre el dispositivo móvil y el eNodeB, en donde el medio de transmisión es el aire, por lo que es necesario un conjunto de protocolos apropiados para la interfaz radio. Esta interfaz maneja tanto plano de control como plano de usuario [3]. La Figura 2.4 se aprecia los protocolos utilizados para cada plano.

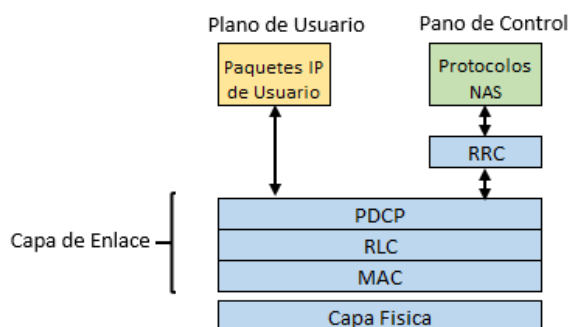


Figura 2.4 Protocolos de la interfaz radio de E-UTRAN

- **Protocolos en la interfaz S1 y X2**

En E-UTRAN existen dos interfaces, ambas soportando el protocolo IP en su pila de protocolos, por lo que, la transmisión de datos será haciendo uso de la técnica de conmutación de paquetes. La primera interfaz, conocida como X2, es utilizada para la comunicación entre nodos eNodeB, mientras que la segunda interfaz conocida como S1 representa la comunicación entre el eNodeB con el EPC. Esta interface a su vez, se divide en dos partes, la que maneja el plano de control directamente, llamada S1-MME está formada entre el eNodeB con el MME, mientras la que maneja el plano de usuario, se denomina S1-U, y está formada entre el eNodeB con el S-GW [3]. En la Figura 2.5 se detalla los protocolos utilizados en ambas interfaces.

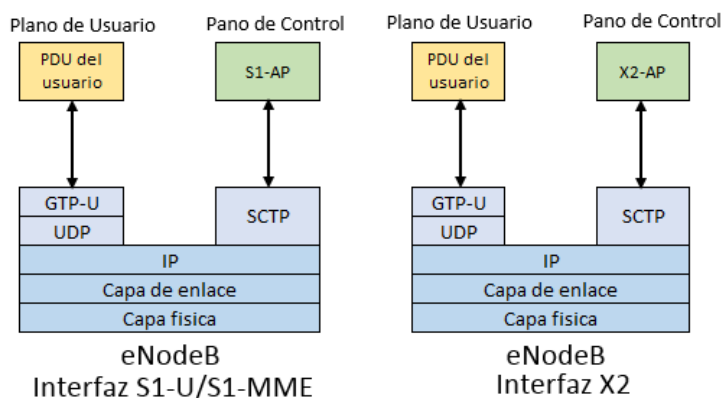


Figura 2.5 Protocolos de la interfaz S1 y X2

- **Protocolos en la interfaz S10**

Esta interfaz ha sido designada para la comunicación entre elementos MME. Es solamente de control, y será utilizado durante eventos de trasposos, en donde la información del suscriptor almacenado en un MME es transferida a otro MME. El protocolo utilizado para realizar esta tarea es el protocolo de túnel de GPRS para control (GTP-C - GPRS Tunneling

Protocol) [3]. En la Figura 2.6 se detalla la pila de protocolos que componen esta interfaz.

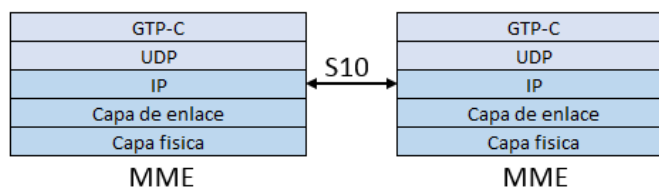


Figura 2.6 Protocolos de la interfaz S10

- **Protocolos en la interfaz S11**

Esta interfaz ha sido designada para la comunicación entre el MME y el SGW, al igual que la interfaz S10, es de control únicamente y maneja la parte de control del protocolo GTP (GTP-C). Entre sus funciones se destacan las coordinaciones de localización y de movilidad [3]. La Figura 2.7 se detalla la pila de protocolos que maneja esta interfaz.

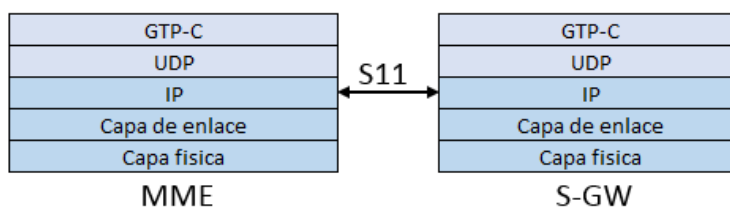


Figura 2.7 Protocolos de la interfaz S11

- **Protocolos en la interfaz S5/S8**

Esta interfaz se encuentra formada entre el SGW y PGW. La interfaz S5 es utilizada para el entunelamiento del plano de usuario, así como la administración de dichos túneles entre estos dos elementos, de igual manera es utilizada para la reasignación de SGW debido a la movilidad del usuario. Mientras la interfaz S8 es utilizada para la conexión entre el SGW de la red visitante con el PGW de la red local del suscriptor. De esta manera, se resume que la interfaz S5 es para eventos en la red local, mientras que la interfaz S8 es para eventos de itinerancia [3]. En la Figura 2.8 se presenta los protocolos que participan entre estos dos elementos.

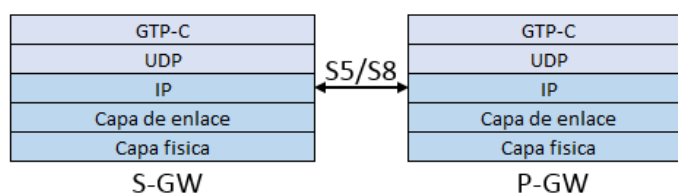


Figura 2.8 Protocolos de la interfaz S5/S8

- **Protocolos en la interfaz S6a**

S6a es la interfaz definida entre el MME y HSS. Es usada para la transferencia de datos de suscripción y autenticación utilizando el protocolo Diameter para los servicios de autenticación, autorización y contabilización (AAA - Authentication, Authorization and Accounting) como se muestra en la Figura 2.9 [3].

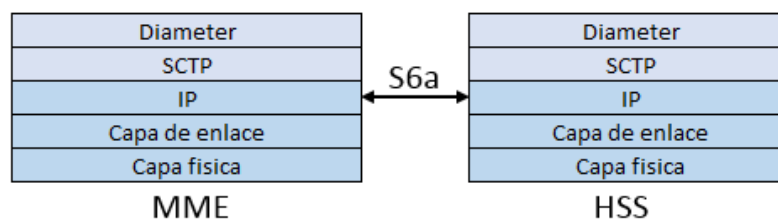


Figura 2.9 Protocolos de la interfaz S6a

- **Protocolos en la interfaz SGi**

Esta interfaz se conforma entre el PGW y la PDN, permitiendo conectar al operador con una red de datos, ya sea esta externa, privada, o con otro operador [3].

2.2 Fundamentos de las Redes definidas por software

En la actualidad, las redes IP se han vuelto complejas y difíciles de administrar. Realizar un cambio implica configurar cada dispositivo de red por separado usando el lenguaje de comandos definido por el proveedor, tomando en cuenta que se está expuesto a ingresar alguna configuración errónea que genere resultados no esperados provocando una afectación parcial o total de la red,

que se verá reflejado en pérdidas económicas para la empresa. La administración se vuelve complicada también, ya que no se dispone de una gestión común que permita tener una visión global de la red, debido a que cada proveedor ofrece soluciones solamente para sus propios elementos.

Las redes definidas por software (SDN – Software Defined Networking) es un paradigma de red que aspira resolver los obstáculos encontrados en la infraestructura actual. Para alcanzarlo, propone extraer la lógica de control de los enrutadores y conmutadores e implementarlo en un controlador lógicamente centralizado mientras que las funciones de reenvío seguirán ejecutándose en el dispositivo.

2.2.1 Definición de SDN

SDN es una arquitectura de red compuesta por cuatro pilares [4]:

- Los planos de control y datos son separados. La función de control es removida del dispositivo de red convirtiéndolo en un simple equipo que reenviará tráfico.
- Las decisiones de reenvío son basadas en flujos, en lugar de destino. Un flujo se define al conjunto de paquetes que comparten un mismo criterio sobre el cual, se les aplicará un conjunto de acciones. Para SDN, un flujo representa una secuencia de paquetes entre un origen y un destino. La idea de utilizar flujos es de unificar el comportamiento de diferentes tipos de equipos de red.
- La lógica de control es reubicada a una entidad externa, llamada controlador SDN.
- La red es programable a través de aplicaciones de software que se comunican con el controlador, el cual, interactúa directamente con los equipos de red.

2.2.2 Arquitectura de SDN

La arquitectura de SDN está conformada por tres capas como se muestra en la Figura 2.10. A continuación se explica el rol de cada una [5].

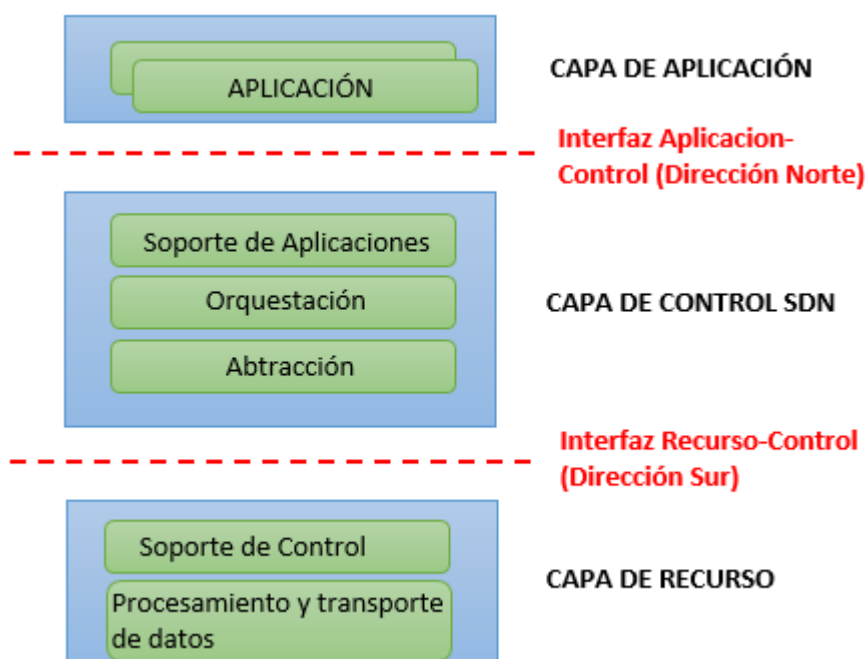


Figura 2.10 Arquitectura de SDN

- **Capa de aplicación**

Lugar donde las aplicaciones de SDN especifican los servicios de red mediante la definición de un comportamiento en los recursos de red de una manera programática. Estas aplicaciones interactúan con la capa de control SDN vía interfaz Aplicación-Control, con el propósito de que esta última automáticamente personalice la manera de proceder de los recursos de red.

- **Capa de control SDN**

Esta capa proporciona un medio para controlar de forma dinámica y determinística el comportamiento de los recursos de red según lo indicado en la capa de aplicación. El control de la señalización desde la capa de control SDN a los recursos de red es entregado mediante la interfaz Recurso-Control. Las configuraciones realizadas por las aplicaciones SDN son abstraídas mediante modelos de información y datos.

- **Soporte de aplicaciones**

Su función consiste en proveer una interface Aplicación-Control para que las aplicaciones SDN accedan a la información de red y la programen en base a lo solicitado.

- **Orquestación**

Provee una gestión y control automatizado de los recursos de red, además de coordinar las solicitudes de la capa de aplicación para los recursos de red mediante políticas que fueron provistas por funciones de la capa de aplicación.

- **Abstracción**

Es aquella que interactúa con los recursos de red y provee la abstracción de estos incluyendo las capacidades y características de red, a fin de soportar la administración y orquestación de los recursos físicos y virtuales.

- **Capa de Recursos**

La capa de recursos es donde se alojan los elementos de red que realizan el transporte y el procesamiento de los paquetes de datos en base a las decisiones hechas por la capa de control SDN, las cuales han sido enviadas a la capa de recursos por medio de la interfaz Recurso-Control.

- **Soporte de control**

Su función consiste en interactuar con la capa de control SDN.

- **Procesamiento y transporte de datos**

Su función es proporcionar las funcionalidades de reenvío y encaminamiento de datos.

La funcionalidad de reenvío de datos maneja los flujos de datos entrantes para enviarlos a las rutas que han sido calculadas y establecidas en base a los requerimientos definidos por las aplicaciones SDN.

La funcionalidad de control para el reenvío de datos es proporcionada por la capa de control SDN

La funcionalidad del encaminamiento de datos es de proveer el control y servicios de red en la capa de recursos basado en las reglas de encaminamiento que puede ser personalizado por la capa de control SDN para aplicaciones SDN.

2.2.3 Interfaces

Existen dos interfaces que se manejan en la arquitectura de SDN, la de Aplicación-Control y la de Recurso-Control como se observa en la Figura 2.11 [5].

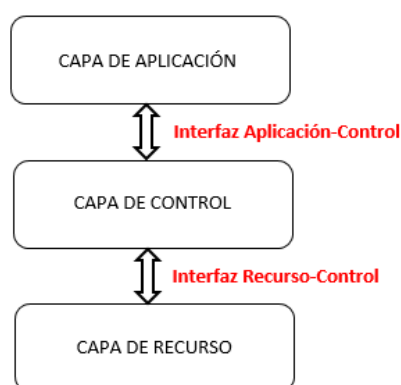


Figura 2.11 Interfaces en SDN

- **Interfaz Aplicación-Control**

Es utilizada para la comunicación entre la capa de aplicación y capa de control SDN. Esta interfaz puede ser usada por la capa de aplicación para enviar información a la capa de control SDN que contribuirá al proceso de toma de decisiones en términos de asignación dinámica de recursos. Se la define como interfaz en dirección norte (Northbound) por la ubicación superior en la arquitectura.

- **Interfaz Recurso-Control**

Es utilizada para la comunicación entre la capa de control SDN y la capa de recurso. La información intercambiada entre ellos incluye el control de la información proporcionada por la capa de control SDN, por ejemplo, configurar un recurso de red. Se la define como interfaz en dirección sur (Southbound) por la ubicación inferior en la arquitectura.

2.3 Fundamentos de la Virtualización de funciones de red

En los siguientes apartados se revisará los fundamentos de la virtualización de las funciones de red, su definición, arquitectura y descripción de cada uno de los elementos que la componen.

2.3.1 Definición de NFV

La virtualización de funciones de red (NFV - Network Function Virtualization) es una arquitectura que propone desarrollar cada función de red como una implementación de software para luego ejecutarla desde un ambiente virtual, logrando así, ampliar o reducir varios servicios de red de manera más rápida.

La característica interesante de NFV es su disponibilidad para ambas plataformas de red cableada e inalámbrica. Igualmente, ayuda a reducir las inversiones en bienes capitales (CAPEX - Capital Expenditure) y los gastos operaciones (OPEX - Operating Expenditures) minimizando así la compra de hardware dedicado.

2.3.2 Arquitectura de NFV

La arquitectura de NFV se enfoca en los cambios que probablemente se producirán en la red del operador al utilizar la virtualización de las funciones de red. La Figura 2.12 muestra los bloques funcionales de esta arquitectura los cuales son [6]:

1. Función de red virtualizada
2. Gestor de elementos
3. Infraestructura de NFV, que incluye:
 - Hardware y recursos virtualizados

- Capa de virtualización
4. Gestor de la infraestructura virtualizada
 5. Orquestador de NFV
 6. Administrador de VNF
 7. Sistema de soporte de operaciones y negocio (OSS/BSS - Operations and Business Support Systems)

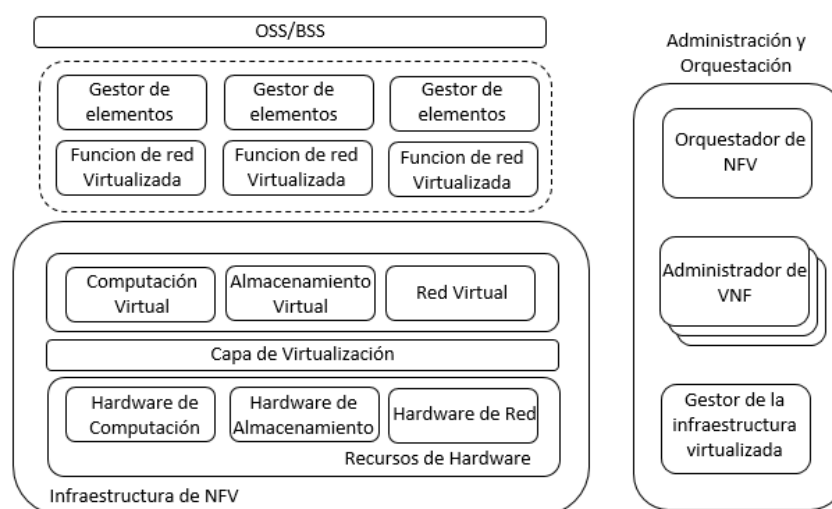


Figura 2.12 Arquitectura de NFV

- **Función de red virtualizada**

La función de red virtualizada o por sus siglas en inglés VNF (Virtualized Network Function) es la virtualización de una función de red en redes no virtualizadas, ejemplos de funciones de red, se puede mencionar a elementos del EPC como el MME, el SGW, PGW; funciones de red convencionales como el cortafuego (Firewall) o del protocolo de configuración dinámica de host (DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol). El comportamiento funcional, así como sus interfaces operacionales externas deben de ser iguales si se usa una función de red física o una virtualizada

- **Gestor de elementos**

El Gestor de elemento o EM (Element Management) es el encargado de realizar la administración de uno o varios VNF.

- **Infraestructura de NFV**

Comprende todos los componentes de hardware y software sobre el cual se construirá el ambiente en donde las VNF serán desarrolladas, administradas y ejecutadas.

Desde la perspectiva de la VNF, la capa de virtualización y los recursos del hardware representan una sola entidad brindándole a este los recursos virtualizados requeridos.

- **Recursos de hardware**

Los recursos de hardware físicos, tales como, disco duro, procesamiento, memoria, y red son proporcionados a las VNF a través de la capa de virtualización. Esto nos da la facilidad de poder implementarlos sobre servidores de propósito general o COTS (Commercial-Off-The-Shelf).

- **Capa de virtualización**

La capa de virtualización abstrae los recursos de hardware y permite desacoplar el software de la VNF del hardware en donde reside, garantizando así un ciclo de vida independiente del hardware para los VNF. Las responsabilidades de esta capa son las siguientes:

- Abstracter y lógicamente particionar los recursos físicos
- Proveer recursos virtualizados a las VNFs
- Permitirle al software que implementa la VNF utilizar la infraestructura virtualizada.

- **Gestor de la infraestructura virtualizada**

Es el encargado de controlar y gestionar la interacción de una VNF con los recursos informáticos. Entre sus responsabilidades se encuentran:

- Inventario de los recursos de software, almacenamiento, red e informáticos asignados a la VNF.

- Gestión de los recursos de asignación y de infraestructura, por ejemplo, El aumentar los recursos a las máquinas virtuales, mejorar la eficiencia energética y la recuperación de los recursos.

- **Orquestador de NFV**

Se encuentra a cargo de la orquestación y administración de la infraestructura de NFV, los recursos de software.

- **Administrador de VNF**

Es responsable de la gestión del ciclo de vida del VNF. Se puede implementar un administrador por cada VNF o para múltiples VNFs.

- **Sistema de soporte de operaciones y negocio**

Esta parte representa al centro de control de la red de un operador, desde donde se monitorea todas las actividades de la red.

2.4 SDN y NFV en redes LTE 4G

Una vez revisado los conceptos, arquitecturas y beneficios tanto de las redes definidas por software como la virtualización de las funciones de red, se va a estudiar la aplicación de ambas en la red LTE 4G, con el fin de conocer los requerimientos, desafíos y recomendaciones al momento de su implementación.

2.4.1 Alternativas de ubicación del controlador SDN en una red LTE 4G

Existen dos alternativas para ubicar el controlador SDN en una red móvil LTE 4G, la primera es incorporándolo con el S-GW y P-GW, mientras que la segunda es integrándolo con el MME. A continuación, se analiza cada alternativa con mayor detalle:

- **Integración de SDN con SGW y PGW**

Esta opción separa los planos de control y usuario del SGW y PGW. A la parte de control se la denominará SGWc y PGWc, este último, encargado de proveer la asignación de direcciones IP a los equipos móviles, mientras que SGWu y PGWu corresponderá a la parte del plano de usuario. Los elementos de control enviarán las órdenes al controlador SDN, quien a su

vez las aplicará en el SGWu y PGWu. El resto de elementos no tendrán ningún cambio, el MME en este escenario interactuará solamente con el SGWc [7]. La Figura 2.13 muestra la arquitectura actual de una red móvil LTE, en donde cada elemento es representado por el plano en el cual se desempeña, sea de control o usuario. Se observa que los nodos eNodeB, SGW y PGW son los únicos que participan en ambos planos, mientras que en la Figura 2.14 se presenta la misma arquitectura, pero con la separación de los planos de control y usuario en el SGW y PGW, ubicando el controlador SDN entre ambos planos, con esto, todo el control de red quedaría separado en la red central.

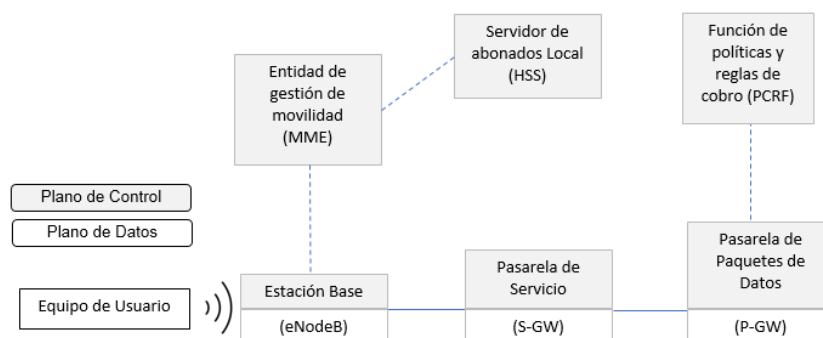


Figura 2.13 Arquitectura de una red móvil LTE

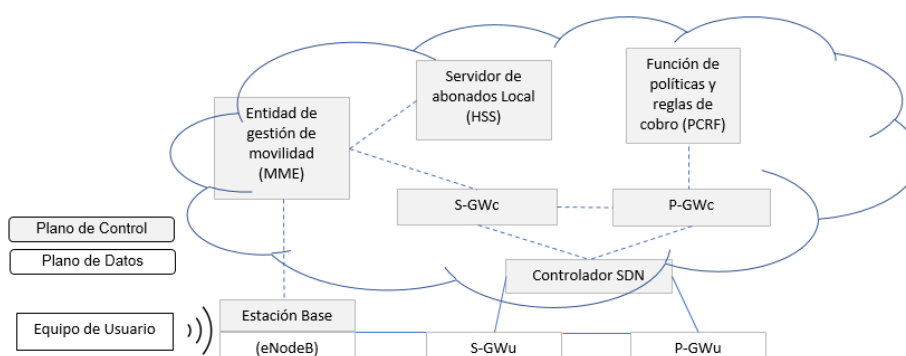


Figura 2.14 Integración de SDN con S/P-GW en la red móvil LTE

- **Integración de SDN con MME**

Consiste en incorporar la funcionalidad de controlador SDN al MME. Esto le permitirá aprender directamente todos los eventos de movilidad desde

el MME. El plano de usuario será basado en switches Openflow que estarán ubicados entre el eNodeB y los SGW y PGW [7].

De las dos opciones, esta se presenta como la solución más viable de implementar a largo plazo, ya que solo se añadiría una nueva función al MME, el de controlador SDN. El único problema con esta integración es que Openflow no soporta protocolos específicos para móviles, como es el caso del protocolo de túnel de GPRS (GTP - GPRS Tunneling Protocol). No es una buena opción el agregarlo, ya que involucra personalización en el switch Openflow, perdiendo así su uso de propósito general, entonces, es más viable que sea reemplazado por un protocolo de comunicación de datos estándar como es la conmutación de etiquetas multiprotocolo o MPLS (Multiprotocol Label Switching). La Figura 2.15 muestra esta integración en donde el SGW y PGW solamente participarán en el plano de usuario, mientras que las funciones de control estarán asignadas al controlador SDN.

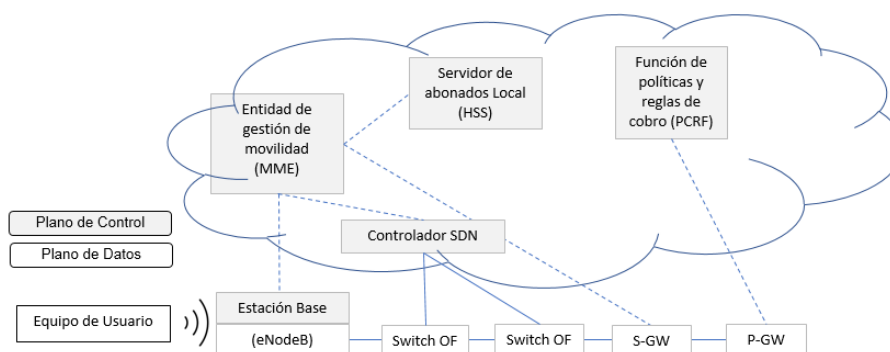


Figura 2.15 Integración de SDN con MME

2.4.2 Funciones de la red de Acceso que pueden virtualizarse

La red de acceso en LTE está compuesta por un solo elemento denominado eNodeB, a continuación, se revisa las funciones que la componen y que pueden virtualizarse.

- **eNodeB**

- Control de recursos radio: asignación, cambio, liberación.
- Gestión de movilidad: procesado de medidas y trasposos.
- Intercambio de tráfico entre el móvil y la red central.
- Cifrado del plano de datos y compresión de cabeceras.

Las funciones de red virtualizadas permiten escalar de manera independiente en base a las necesidades, por ejemplo, se puede incrementar los recursos para el plano de usuario sin afectar el plano de control y viceversa.

Con el propósito de mantener la continuidad del servicio, el plano de control y el plano de usuario necesitan ser respaldados ante cualquier falla. Con la virtualización una función de red podría instalarse en otro sitio de manera inmediata haciéndolo casi imperceptible para el usuario final [8].

2.4.3 Funciones de la red Central que pueden virtualizarse

El 3GPP definió las arquitecturas y especificaciones para las redes móviles 2G, 3G, y 4G. LTE 4G se encuentra compuesta por varias funciones distribuidas en elementos como el MME, SGW, PGW, eNodeB, y PCRF.

NFV puede ser dirigido a cualquier elemento de red, pero dependiendo del escenario requerido, por ejemplo, una red compuesta por equipos propietarios y virtualizados, o todo virtualizado, se aplicará sobre uno o todos los elementos.

Las ventajas que ofrece NFV a los operadores de telefonía móvil son:

- Reducción en la inversión de capital.
- Flexibilidad: Implementar funciones de red de forma rápida y personalizada.
- Reconfiguración de la Topología: Topología de la red puede ser reconfigurado dinámicamente para mejorar el rendimiento.

A partir de lo expuesto, las funciones de la red LTE 4G en donde se puede aplicar NFV serían las siguientes [8]:

- **MME**

- Autorización.
- Autenticación.
- Itinerancia (Usando interfaz S6a hacia HSS Local).
- Selección del SGW y PGW.
- Selección del MME para trasposos con cambio de MME.
- Selección de SGSN para trasposos a redes de acceso 3GPP 2G y 3G.
- Interceptación legal del tráfico de señalización.
- Gestión del manejo de recursos para el plano de usuario.
- Gestion de las listas de zona de seguimiento.

- **SGW**

- Interceptación legal del tráfico de usuario.
- Enrutamiento de paquetes IP.
- Reenvío de paquetes IP.
- Traspasos entre eNB's vecinos.
- Contabilidad para la facturación entre operadores móviles.
- Reporte de eventos al PCRF.

- **PGW**

- Asignación de direcciones IP a los dispositivos móviles.
- Interceptación legal del tráfico de usuario.
- Filtrado de paquetes por usuario.
- Contabilidad para la facturación entre operadores móviles.

- Facturación a nivel de servicio en el enlace ascendente y descendente.
- Función de DHCPv4 (Cliente y Servidor).
- Función de DHCPv6 (Cliente y Servidor).
- Marcado de paquetes a nivel de transporte en el enlace ascendente y descendente.

CAPÍTULO 3

3. ARQUITECTURA PROPUESTA DE SDN Y NFV A LTE 4G

Una vez abordado detalladamente las tecnologías de las redes definidas por software y la virtualización de funciones de red, se va a proceder a aplicarlas en las redes LTE 4G, para esto, se realiza el diseño de la nueva arquitectura tanto física como lógica, se revisará los cambios a realizar, así como los nuevos protocolos que se incorporarán.

3.1 Arquitectura lógica y física propuesta de LTE 4G con SDN y NFV

La propuesta sigue los principios del paradigma de SDN y NFV al ser estructurada por capas en lugar de ser una arquitectura plana como la actual red LTE, además de virtualizar las funciones de red relacionadas al plano de control. A continuación, se detalla cada una de ellas.

- **Capa de Infraestructura**

Representa el hardware que transportará los datos del usuario, estará compuesta por switches Openflow que estarán ubicados en la red de acceso, red de transporte, y red central, reenviando el tráfico generado por el móvil desde eNodeB hacia la red de datos por paquetes. Estos switches no tienen la posibilidad de tomar decisiones autónomas para el tráfico que cursará a través de ellos, esta responsabilidad reposará sobre el controlador localizado en la capa de control. Como una función obligatoria, estos dispositivos deberán soportar protocolos para el establecimiento de túneles, como por ejemplo GTP, para su correcta interoperabilidad con las redes LTE actuales. En la red central, uno de los switches tomará el rol de SGWu, y el otro como PGWu.

- **Capa de Control**

Toda la inteligencia de la red será gestionada desde la capa de control, a través del elemento llamado controlador, el cual básicamente estará compuesto por tres partes como se indica en la Figura 3.1 [9]:

- Bloque de funciones de red.
- Abstracción a nivel de red.
- Bloque de interfaces.

El bloque de funciones de red estará encargado del procesamiento de túneles, enrutamiento, facturación, entre otros. Las funciones encargadas de la virtualización y monitoreo de los recursos de red, así como el descubrimiento y visualización de la topología recaerá sobre el bloque de abstracción. Finalmente, el bloque de interfaces corresponde a las conexiones que manejará el controlador con elementos externos, entre estas tenemos:

- **Interfaz de dirección sur:** Entre el controlador y el switch Openflow
- **Interfaz de dirección norte:** Entre el controlador y las aplicaciones de red.
- **Interfaz horizontal:** Entre un controlador con otro.

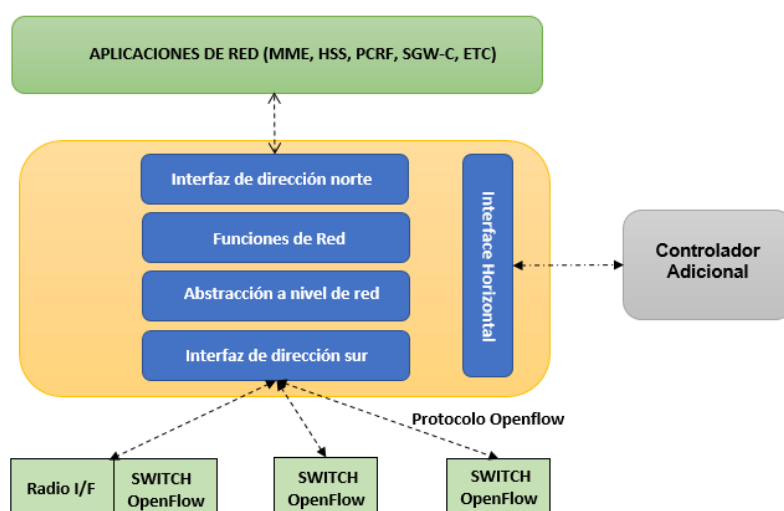


Figura 3.1 Funciones del Controlador SDN

- **Capa de Aplicación**

En esta capa residen las funciones de la red LTE que interactuarán con el controlador usando una API vía interface Northbound donde se enviará las órdenes para que sean ejecutadas en los equipos a nivel de infraestructura.

La arquitectura propuesta para la red LTE 4G consiste en dos divisiones: la separación del plano de control y usuario, y la separación de las funciones de red del hardware que lo hospeda. La primera división es alcanzada gracias a la aplicación del concepto de las redes definidas por software, por esta razón, nuestro diseño deberá ajustarse a la arquitectura de SDN como se muestra en la Figura 3.2, el cual consiste de tres capas: Aplicación, Control, e Infraestructura. La capa de aplicación estará formada por todas las funciones de control que se encuentran distribuidas entre los diversos elementos que conforman la red LTE, tanto de la red de acceso como la red central. Dado que tres elementos de red que participan en ambos planos, como son el eNodeB, SGW, y PGW; es necesario aislar el plano de control de ellos para ubicarlos en esta capa, a los cuales se denominará eNodeB-C, SGWc, y PGWc respectivamente. Para la parte de acceso se está aplicando el concepto de la red de acceso de radio centralizada (CRAN – Centralized Radio Access Networks), por este motivo, nuestra arquitectura estará compuesta por varios eNodeB-C de manera centralizada desde donde se controlará las unidades de radio remotas (RRH - Remote Radio Head) desplegadas en las estaciones base de la red. Las interfaces definidas en el estándar 3GPP TS 23.401 se conservan con el fin de brindar una comunicación transparente con las actuales plataformas.

El controlador SDN, es el único elemento en la capa de control, y estará encargado de recibir las órdenes generadas por el eNodeB-C, SGWc, y PGWc vía Interfaz de Programación de Aplicaciones o API (Application Programming Interface), que a su vez los enviará mediante protocolo Openflow a que sean ejecutados por los dispositivos que manejan el plano de usuario. Entre sus funciones se encuentra la programación del túnel GTP, enrutamiento, etc.

La capa de infraestructura se encuentra compuesta por los elementos de red que manejarán el tráfico de usuario, está formada por el eNodeB-U, SGWu, y PGWu; las órdenes serán recibidas desde el controlador SDN a través de la interfaz Recurso-Control que utiliza el protocolo Openflow.

La siguiente etapa consiste en virtualizar las funciones de red de todos los elementos de control de nuestra arquitectura aplicando el concepto de NFV. En base a esto, el MME, HSS, PCRF, eNodeB-C, SGWc, y PGWc que pertenecen a la capa de aplicación, al igual que el controlador SDN localizado en la capa de Control serán virtualizados y alojados como máquinas virtuales en servidores de propósito general.

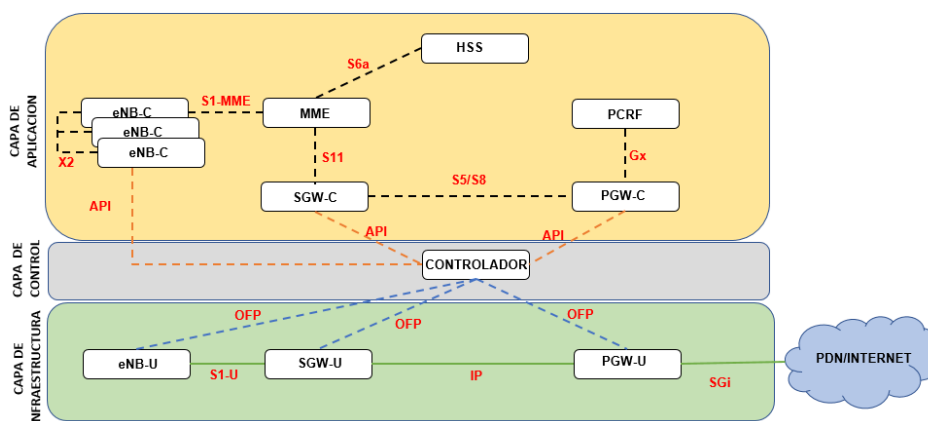


Figura 3.2 Arquitectura lógica de LTE con SDN y NFV

Como se muestra en la Figura 3.3, la arquitectura física propuesta es más reducida en comparación con la arquitectura actual gracias a la aplicación de NFV. Se encuentra compuesta por un rack que albergará el servidor de propósito general donde se tendrán virtualizadas todas las funciones de control de la red LTE al igual que el controlador SDN. Por otra parte, los dispositivos que manejarán el plano de usuario están representados por los switches eNodeB-U, SGWu y PGWu que, aunque solo manejen el plano de reenvío, también deberán soportar el protocolo OpenFlow para la recepción y envío de órdenes a ejecutarse. El eNodeB-U estará situado en cada estación base, conectándose con el RRH en un extremo y con la red central en el otro, mientras que el SGWu y PGWu se encontrarán ubicados en el mismo espacio físico que el servidor.

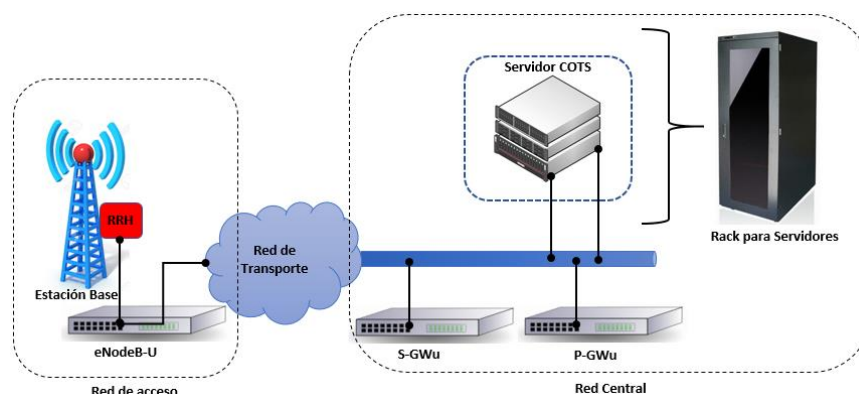


Figura 3.3 Arquitectura física de LTE con SDN y NFV

3.2 Funciones de LTE 4G donde se propone implementar SDN y NFV

En la actualidad, las funciones que se llevan a cabo en una red LTE se encuentran distribuidas entre varios elementos, algunas de ellas relacionadas con tareas de control, datos, o ambas. A fin de centralizar toda la señalización de la red es necesario identificar las funciones por el plano en el cual trabajan. En la sección 2.1.3 se describió las funciones realizadas de cada elemento que forma parte de la red LTE, las cuales se resumen en la Tabla 1 indicando los planos en donde trabaja.

ELEMENTO	FUNCIÓN	PLANO OPERACIONAL
Nodo B Evolucionado (Evolved Node B)	Control de recursos radio: asignación, cambio, liberación. Gestión de movilidad: procesado de medidas y traspasos.	Plano de Control Plano de Usuario
Entidad de Gestión de Movilidad (Mobility Management Entity)	Autorización. Autenticación. Itinerancia (Usando interfaz S6a hacia HSS Local).	Plano de Control

	<p>Selección del SGW y PGW.</p> <p>Selección del MME para trasposos con cambio de MME.</p> <p>Selección del SGSN para trasposos a redes de acceso 3GPP 2G y 3G.</p> <p>Gestión del manejo de recursos para el plano de usuario.</p> <p>Gestion de las listas de zona de seguimiento</p> <p>Gestión de movilidad y de sesiones: posición, localización</p>	
Pasarela de Servicio (Serving Gateway)	<p>Intercambio de tráfico de usuario entre la red de acceso y central</p> <p>Punto para trasposos con otras redes 3GPP</p>	<p>Plano de Control</p> <p>Plano de Usuario</p>
Pasarela de paquetes de datos (Packet Data Network Gateway)	<p>Intercambio de tráfico con redes externas (PDN)</p> <p>Ejecuta las políticas de acción sobre el tráfico y toma de datos para tarificación</p> <p>Asignación de direcciones IP a los dispositivos móviles.</p> <p>Punto para trasposos con otras redes no 3GPP</p>	<p>Plano de Control</p> <p>Plano de Usuario</p>
Servidor de abonados local (Home Subscriber Server)	<p>Base de datos central de usuarios del sistema EPS</p> <p>Identidades, datos de servicio y localización de usuarios</p>	<p>Plano de Control</p>
Función de política y reglas de cobro (Policy Charging and Rules Function)	<p>Gestión de políticas de calidad de servicio y tarificación</p>	<p>Plano de Control</p>

Tabla 1. Descripción de los elementos funcionales en la red LTE

Para la elaboración de esta propuesta se revisaron algunos trabajos realizados que corresponden a la aplicación de ambos conceptos en LTE. En la Tabla 2 se indican cada uno de ellos sus aportaciones.

Solución	Segmento de estudio en la red LTE	Contribución	Interoperabilidad con el 3GPP LTE
MobileFlow	EPC y RAN	Nueva arquitectura móvil SDN	Si
SoftCell	EPC y RAN	Nueva arquitectura plana celular	No
Kempf	EPC y RAN	Mover control EPC a la nube	En estudio

Tabla 2. Trabajos relacionados con SDN y NFV en LTE

La Figura 3.4 nos muestra la arquitectura de NFV utilizada para la virtualización de las funciones de red de cada uno de los elementos que pertenecen tanto a la capa de aplicación como la capa de control. En la gráfica se ha representado cada VNF con el nombre del elemento responsable de las funciones indicadas en la Tabla 1. De igual manera, el controlador SDN también será virtualizado y alojado como otro VNF debido a que sus funciones son completamente de control. La comunicación entre VNFs será interna a través de la red virtual creada gracias a la capa de virtualización, cuando algún VNF necesite comunicarse con otro elemento fuera del servidor se utilizará la interfaz de red física. La infraestructura del servidor debe ser de alta capacidad y disponibilidad, para este tipo de soluciones se podrá disponer de cualquier servidor de propósito general ofrecido en el mercado.

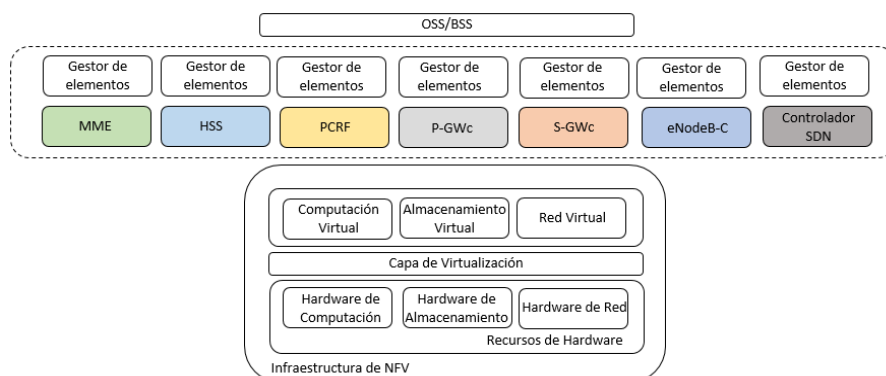


Figura 3.4 Distribución propuesta de las funciones de LTE mediante SDN y NFV

3.3 El plano de control y el plano de usuario con SDN y NFV

En la arquitectura 3GPP, ya existe una separación del plano de control y del plano de usuario en interfaces y protocolos, por esta razón, a fin de garantizar una completa interoperabilidad entre la propuesta y la actual arquitectura se decide conservarlos con ciertos ajustes los cuales se detallan a continuación:

- La incorporación de tres nuevas interfaces: Dirección sur, Dirección norte y Horizontal.
- Elementos como el MME, PCRF interactuarán directamente con las funciones de control del eNB, SGW-C y PGW-C, que a su vez enviarán las ordenes al controlador para que se ejecuten en los equipos de infraestructura.
- Cada elemento de la arquitectura estará a cargo del manejo de un solo plano, ya sea de control o usuario, pero no ambos. Con esto se logra una marcada separación entre ellos.

En la Figura 3.5 se presenta los protocolos utilizados en las diferentes interfaces de nuestra arquitectura. Cada interfaz sigue conservando el conjunto de normas definido por el 3GPP para la comunicación entre elementos de la red LTE, por ejemplo, en la interfaz S6a, definida entre el HSS y MME, se continúa usando el protocolo Diameter para el intercambio de información. El objetivo de mantenerlo, es permitir la interoperabilidad de forma transparente con los diferentes operadores móviles que no utilizan SDN y NFV en sus redes,

logrando que la integración sea lo más rápida posible. Las interfaces que usa la arquitectura de SDN también agregarán nuevos protocolos a nuestra propuesta, para la interfaz Recurso-Control, denominada Southbound el protocolo a utilizarse es el Openflow, utilizado por el controlador para enviar las órdenes al SGWu, PGWu, y eNodeB-U de cómo deberán manejar el tráfico de usuario. Mientras que la interfaz Aplicación-Control utilizará las APIs, que son librerías proporcionada por el software del controlador para que las VNFs de la capa de aplicación puedan comunicarse con este.

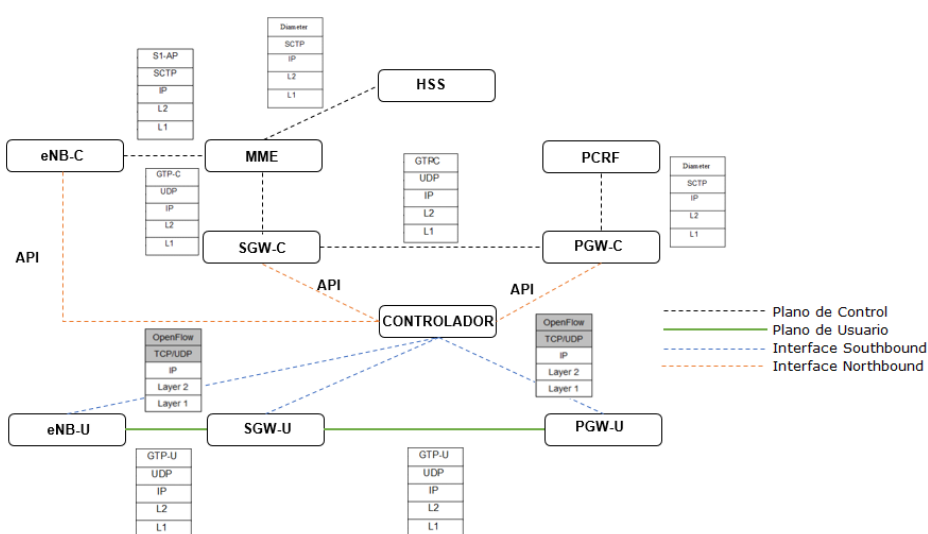


Figura 3.5 Distribución de protocolos en EPC con SDN y NFV

3.4 El Evolved Packet Core (EPC) con SDN y NFV

El nuevo EPC de la solución propuesta responde a una evolución en las redes móviles que se ha venido dando en los últimos años, enfocado en reducir los costos, mejorar la calidad del servicio, e incrementar la velocidad de transmisión de los datos. La Figura 3.6 muestra los cambios que ha ido tomando la arquitectura hasta la actualidad [10].

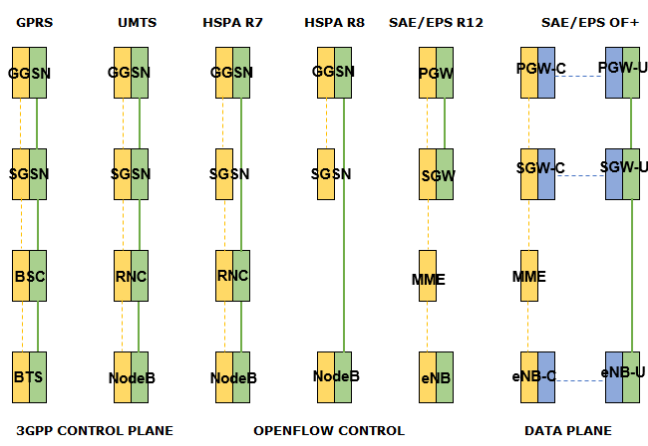


Figura 3.6 Evolución de las redes móviles

Tanto SDN como NFV proponen sus soluciones basadas en software independiente del hardware que se utilice, abriendo la posibilidad de utilizar hardware comercial y no depender de equipos propietarios.

Entre los desafíos de aplicar el concepto de SDN al EPC se mencionan los siguientes:

- Interoperabilidad con tecnologías 3GPP: 2G, 3G y 4G.
- Soporte para el protocolo GTP.

Para el primer punto se decidió conservar las interfaces definidas en el 3GPP, mientras que en el segundo se agregará el protocolo GTP a los switches Openflow como una función adicional.

El SGW como PGW, elementos claves de la red LTE, se ven enormemente beneficiados de la aplicación de SDN y NFV. Como primer paso, es necesario realizar la separación del tráfico de control y datos de cada uno, por lo que, sus funciones deben ser lógicamente separadas e intercomunicarlas a través de un protocolo de interfaz abierta como es Openflow. El segundo paso consiste en la virtualización de las funciones de control, permitiendo que cada uno se ejecute en el interior de una máquina virtual.

El análisis realizado a cada elemento nos permitirá identificar sus funciones, para el caso de PGW y SGW sus funciones fueron clasificadas como se detalla a continuación [11]:

Señalización: Donde se inician y reciben los mensajes de señalización a las correspondientes funciones requeridas. Esta función es requerida en SGW y PGW.

Gestión de recursos: Se encarga de administrar los recursos disponibles del plano de datos, por ejemplo, asigna los parámetros a la portadora, como la identificación del punto extremo del túnel (TEID - Tunnel Endpoint ID), así mismo, aplica las políticas al tráfico de usuario en base a la calidad de servicio asignado. Esta función está presente en el SGW y PGW.

Reglas de reenvío del plano de datos: Almacena las reglas para el reenvío de los datos del usuario, estas reglas fueron obtenidas desde la gestión de recursos para ser aplicadas a todas las portadoras establecidas.

Reenvío del plano de datos: Representa el hardware que manejará el tráfico y procesamiento de datos.

Protocolo GTP: Ambos elementos usan el protocolo GTP, el cual es utilizado para el establecimiento de túneles IP y que encapsularan el tráfico de señalización y datos, de ahí surgen las nomenclaturas asignadas GTP-C para control y GTP-U para datos.

Clasificación y filtro del plano de datos: Es responsable de identificar los paquetes basados en perfiles y políticas de usuarios para el tráfico de datos entrante y saliente. Esta función esta solo disponible para el P-GW.

Control de tarificación: Realizado principalmente en el P-GW para temas de facturación prepago y postpago. En el caso de postpago se genera un tipo de archivo llamado registro de datos de facturación o CDR (Charging Data Record) para su posterior procesamiento y facturación, mientras que en el prepago que se va tarificando en tiempo real y se va descontando de su saldo. El SGW también puede generar CDRs que son utilizados por el operador para usuarios que se encuentran en itinerancia.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA INCLUYENDO SDN Y NFV

Nuestro análisis inicia mostrando los beneficios que recibirá el operador móvil con el uso de la propuesta, en donde se realizará una comparación de CAPEX y OPEX con la arquitectura actual, posteriormente se abordará los beneficios para el usuario final y se finalizará con una comparación con soluciones disponibles en el mercado para SDN y NFV.

4.1 Beneficios para los usuarios y para los operadores de redes LTE 4G

La adaptación de las redes definidas por software y la virtualización de funciones de red a nuestra propuesta de rediseño brindará aportaciones tanto al operador como al usuario, a continuación, se revisa cada uno con mayor detalle.

- **Beneficios para el operador**

A nivel de costos, los operadores se ven beneficiados tanto a nivel de CAPEX como de OPEX. El CAPEX representa toda la inversión inicial requerida por el operador móvil para implementar un producto o un servicio, mientras que el OPEX corresponde a los costos obligatorios que sirven para mantener operativo el servicio. La reducción del CAPEX se logra con la adquisición de servidores de propósito general, en lugar de comprar equipos con propósitos específicos ofertados por los proveedores de telecomunicaciones. En un servidor se podrán tener virtualizados las funciones de red compartiendo entre estas los recursos del mismo servidor físico.

Se observa una disminución en el OPEX al centralizar la parte de control de los eNodeB, ya que las estaciones base solo alojarían los equipos que proveen el acceso radio, reduciendo los costos fijos por temas relacionados a mantenimiento preventivo y correctivo, por ejemplo, sistema de enfriamiento,

sistema contra incendios, sistema eléctrico, alquiler del espacio físico para montar la estación base, entre otros.

Debido a su enfoque en el software, las funciones de red LTE virtualizadas tienen la posibilidad de ser desarrolladas sobre código abierto, permitiendo a las empresas de software ingresar al mercado de las telecomunicaciones y competir con los ya reconocidos proveedores de este campo.

Con relación a la seguridad, se facilita la configuración de las políticas ya que todas las reglas se definirían desde el controlador SDN, que a su vez la instalaría en todos los elementos de la red LTE de manera inmediata, sin tener que estar ingresando a cada equipo por separado para instalarlas.

Otro beneficio que será percibido por el operador es la reducción en los tiempos de implementación de un servicio. En la actualidad, hay varias etapas por la que se debe pasar antes de sacar un servicio al mercado, por ejemplo, el proceso que incurre instalar una nueva plataforma como: selección del sitio, instalación, comisionamiento, integración, y pruebas que puede tomar varios meses, con NFV simplemente es cuestión de crear una máquina virtual y en cuestión de minutos ya está en producción.

La escalabilidad es otro beneficio que el operador puede experimentar, ya que, si una función requiere de más o menos recursos para soportar un servicio, simplemente se le asigna a la máquina virtual, sin invertir en hardware para lograrlo.

Finalmente, el operador podrá tener una visión global de su red al manejar todo desde el controlador, podrá evaluar primeramente los cambios a realizarse, para posteriormente aplicarlos en la red.

- **Análisis económico de la arquitectura propuesta**

Para evaluar la factibilidad económica se realizará un análisis del CAPEX y OPEX entre nuestra propuesta contra la arquitectura actual LTE. La Tabla 3 muestra la cantidad de elementos a utilizarse en nuestro análisis para ambos casos. El análisis será realizado por bloques, es decir, para la red de acceso y

para la red central, en cada uno se definirá los parámetros considerados para el cálculo del costo, para finalmente aplicarlos en ambos escenarios.

Elemento	Cantidad
eNodeB	1000
MME	1
PCRF	1
SGW	1
PGW	1

Tabla 3. Distribución de elementos para el escenario de análisis

Los parámetros que se utilizan para las diferentes fórmulas en el cálculo del CAPEX se detallan en la Tabla 4:

Parámetro	Descripción
N_{NB}	Cantidad requerida de eNodeB
C_{eNB}	Precio del eNodeB
N_{sitio}	Cantidad de switches OpenFlow requeridos
C_{sof}	Precio del switch OpenFlow
C_{MME}	Precio del MME
C_{SGW}	Precio del SGW
C_{PGW}	Precio del PGW
C_{PCRF}	Precio del PCRF
N_{MME}	Cantidad de MME requeridos
N_{SGW}	Cantidad de SGW requeridos
N_{PGW}	Cantidad de PGW requeridos
N_{PCRF}	Cantidad de PCRF requeridos
C_{LMME}	Precio de la Licencia del MME
C_{LSGWc}	Precio de la Licencia del SGWc
C_{LPGWc}	Precio de la Licencia del PGWc
C_{LPCRF}	Precio de la Licencia del PCRF
C_{LeNBc}	Precio de la Licencia del eNodeB-C
C_{SGWu}	Precio del Switch OpenFlow SGWu
C_{PGWu}	Precio del Switch OpenFlow PGWu

C_{server}	Precio del servidor de propósito general
C_{SDN}	Precio del Controlador SDN
N_{SGWu}	Cantidad de SGWu requeridos
N_{PGWu}	Cantidad de PGWu requeridos
N_{eNBc}	Cantidad de eNodeB-C requeridos

Tabla 4. Parámetros utilizados en el cálculo del CAPEX

- **CAPEX en la red de acceso**

Arquitectura Tradicional: El CAPEX de la arquitectura tradicional para la red de acceso estaría definido por la siguiente fórmula [12]:

$$CAPEX_{tradicionalRA} = N_{NB} * C_{eNB} \quad (4.1)$$

Arquitectura Propuesta: Los parámetros a usarse son diferentes a los de la arquitectura tradicional debido a que en el sitio solo se encuentra la parte del RRH y el switch Openflow que se conectará con el eNodeB-C localizado en la red central.

El CAPEX de la propuesta para la red de acceso estaría definido por la siguiente fórmula:

$$CAPEX_{propuestaRA} = N_{sitio} * C_{sof} \quad (4.2)$$

- **CAPEX en la red central**

Arquitectura Tradicional: Está compuesto por los equipos del proveedor, elaborados con su propio hardware y software. Para el operador móvil, es una caja negra, que cumple una función específica y que incurre en el CAPEX al momento de su adquisición. A continuación, se indica la fórmula para obtener el CAPEX en este escenario [12].

$$CAPEX_{tradicionalRC}: (N_{MME} * C_{MME} + N_{SGW} * C_{SGW} + N_{PGW} * C_{PGW} + N_{PCRF} * C_{PCRF}) \quad (4.3)$$

Arquitectura Propuesta: Se asumirá que el recurso virtualizado es un componente de software ejecutándose en una máquina virtual instalada sobre un servidor de propósito general. En nuestra propuesta el valor del CAPEX será por la licencia de la función requerida, el cual será efectuado una sola vez, de

igual manera, el servidor que alojará dichas funciones también será incluido en el costo al igual que el controlador SDN. En base a lo indicado el CAPEX quedaría definido por la siguiente fórmula:

$$\text{CAPEX}_{\text{PropuestaRC}}: (N_{\text{MME}} * C_{\text{LMME}} + C_{\text{LSGWc}} + C_{\text{LPGWc}} + N_{\text{PCRF}} * C_{\text{LPCRF}}) + C_{\text{server}} + C_{\text{CSDN}} + (N_{\text{SGWu}} * C_{\text{SGWu}} + N_{\text{PGWu}} * C_{\text{PGWu}}) + (N_{\text{eNBc}} * C_{\text{LeNBc}}) \quad (4.4)$$

- **OPEX en la red de acceso y en la red central**

En nuestro análisis, tanto la red LTE tradicional como la arquitectura propuesta incurrirán en los mismos tipos de costos, los cuales se mencionan a continuación [13]:

- Costo permanente de la infraestructura
- Costo de mantenimiento
- Costo de reparación
- Costo de aprovisionamiento del servicio
- Costo de la primera instalación

El costo permanente de la infraestructura representa aquellos valores que permiten mantener a una red operativa sin falla, por ejemplo, gastos de consumo eléctrico, refrigeración, entre otros. El costo de mantenimiento abarca los gastos por monitoreo y mantenimiento de la red ante posibles fallas. Por otra parte, el costo de reparación es el importe destinado a arreglos por fallas en la red. El costo de aprovisionamiento de servicio está dirigido al proceso de implementar un servicio al cliente, y finalmente el costo de la primera instalación que compete al gasto de instalación de un nuevo equipo en la red.

- **Cálculo de CAPEX en la arquitectura tradicional LTE**

Para este cálculo se va a utilizar la cantidad de elementos referidos en la Tabla 3, mientras que el valor de cada uno de ellos será presentado en la Tabla 5. El costo del eNodeB es un estimado en base a las búsquedas realizadas en internet, por lo tanto, puede ser realista pero no exacto. Para el precio de los demás elementos ubicados en la red central se ha considerado al del fabricante

Cisco ya que utiliza el mismo hardware, el ASR 5000, para instalar las diferentes funciones de red.

Parámetro	Valor
Red de Acceso	
eNodeB	60,000.00 USD
Red Central	
MME	78,000.00 USD
SGW	78,000.00 USD
PGW	78,000.00 USD
PCRF	78,000.00 USD

Tabla 5. Precios de los elementos en la arquitectura tradicional LTE

El valor del CAPEX para la red de acceso sería el siguiente:

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRA}} = N_{\text{NB}} * C_{\text{eNB}}$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRA}} = 1,000 * 60,000$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRA}} = 60,000,000 \text{ USD}$$

El valor del CAPEX para la red central es:

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRC}}: (N_{\text{MME}} * C_{\text{MME}} + N_{\text{SGW}} * C_{\text{SGW}} + N_{\text{PGW}} * C_{\text{PGW}} + N_{\text{PCRF}} * C_{\text{PCRF}})$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRC}}: [(1 * 78,000) + (1 * 78,000) + (1 * 78,000) + (1 * 78,000)]$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalRC}}: 312,000 \text{ USD}$$

El CAPEX total de la arquitectura tradicional LTE se lo obtendría de la siguiente manera:

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalLTE}} = \text{CAPEX}_{\text{tradicionalRA}} + \text{CAPEX}_{\text{tradicionalRC}} \quad (4.5)$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalLTE}} = 60,000,000 \text{ USD} + 312,000 \text{ USD}$$

$$\text{CAPEX}_{\text{tradicionalLTE}} = 60,312,000 \text{ USD}$$

- **Cálculo de CAPEX en la arquitectura propuesta**

Para la valoración económica de nuestra propuesta, el servidor que se va a utilizar para hospedar las diferentes funciones de red virtualizadas es el DELL

PowerEdge M630 Blade Server ya que cumple con los requerimientos de hardware utilizados en la actualidad para la ejecución de máquinas virtuales, las cuales se detallan en la Tabla 6.

CPU	Memoria	Almacenamiento	Red
2x XEON CPU (2x 4 núcleos)	64 GB RAM	2TB RAID 1 - HDD	4 x 10GB

Tabla 6. Características del servidor PowerEdge M630

El Controlador SDN que se usará es el NEC OpenFlow Controller PF6800, mientras que el SGW-U, PGW-U y eNodeB-U utilizará el switch NEC OpenFlow PF5248. A continuación, en la Tabla 7 se detallan los precios estimados para nuestro CAPEX.

Parámetro	Valor
$C_{Licencia}$	25,000.00 USD
$C_{Servidor}$	6,000.00 USD
$C_{ControladorSDN}$	15,000.00 USD
$C_{SwitchOF}$	4,000.00 USD

Tabla 7. Precios de los elementos en la arquitectura propuesta

El valor del CAPEX para la red de acceso sería el siguiente:

$$CAPEX_{propuestaRA} = N_{sitio} * C_{sof}$$

$$CAPEX_{propuestaRA} = 1,000 * 4,000$$

$$CAPEX_{propuestaRA} = 4,000,000 \text{ USD}$$

El valor del CAPEX para la red central es:

$$CAPEX_{PropuestaRC}: (N_{MME} * C_{LMME} + C_{LSGW} + C_{LPGW} + N_{PCRF} * C_{LPCRF}) + C_{server} + C_{SDN} + (N_{SGW} * C_{SGWU} + N_{PGW} * C_{PGWU}) + (N_{eNBC} * C_{LeNBC})$$

$$CAPEX_{PropuestaRC}: ((1 * 25,000) + 25,000 + 25,000 + (1 * 25,000)) + 6,000 + 15,000 + ((1 * 4,000) + (1 * 4,000)) + (1,000 * 25,000)$$

$$CAPEX_{PropuestaRC}: 25,129,000 \text{ USD}$$

El CAPEX total de la arquitectura propuesta quedaría de la siguiente manera:

$$\text{CAPEX}_{\text{PropuestaTotal}} = \text{CAPEX}_{\text{propuestaRA}} + \text{CAPEX}_{\text{PropuestaRC}} \quad (4.6)$$

$$\text{CAPEX}_{\text{PropuestaTotal}} = 4,000,000 \text{ USD} + 25,129,000 \text{ USD}$$

$$\text{CAPEX}_{\text{PropuestaTotal}} = 29,129,000 \text{ USD}$$

Los resultados obtenidos en el cálculo del CAPEX en ambos escenarios muestran una reducción de alrededor del 50% a favor de nuestra propuesta, conseguido por el reemplazo del hardware propietario por una función virtualizada alojada en un servidor de propósito general al igual que la incorporación de switches OpenFlow.

- **Análisis del OPEX entre la arquitectura tradicional versus la arquitectura propuesta**

El OPEX en la arquitectura propuesta es mejor ya que al eliminar el plano de control en los switches Openflow, se minimizaría tanto el calor generado por este como el consumo de energía eléctrica, disminuyendo de igual manera la energía requerida para el enfriamiento del equipo.

El costo de mantenimiento se ve favorable igualmente ya que no se tendrán equipos complejos que administrar en las estaciones base, mientras que en la red central todos los elementos físicos han sido migrados como funciones virtuales, lo que nos llevaría a un costo de mantenimiento de administración del software.

El costo por reparación se reduciría debido al reemplazo del hardware por software, ya no se estaría incurriendo en altos valores definidos por el proveedor por un componente utilizado en su equipo. La virtualización nos ofrece la capacidad de reinstalar de manera casi inmediata un nuevo elemento sin la necesidad de involucrar hardware.

El costo de aprovisionamiento se puede reducir al habilitar configuraciones automatizadas en la red. Actualmente se requiere que el personal tenga conocimiento para configurar, administrar, y realizar algún cambio en los equipos propietarios de la red, lo que incurre en costos para entrenamiento, o en contrataciones de personal con experiencia. Con SDN se disminuye la

cantidad de configuración manual a realizar en la red, lo que minimiza cualquier error cometido.

Los beneficios que lograría el operador móvil con la utilización de la arquitectura propuesta serían los siguientes:

- **Mejoras en el CAPEX:** Con el reemplazo de los equipos propietarios por dispositivos de propósito general, la inversión inicial se vería reducida notablemente.
- **Mejoras en el OPEX:** Los dispositivos requieren de un menor consumo de energía eléctrica en comparación con equipos propietarios, lo que a su vez disminuiría el tamaño del sistema de enfriamiento requerido. El reemplazo del hardware es otro factor del cual se beneficiaría ya que las partes son más accesibles de ubicarlas en el mercado y no depender del solamente del proveedor.
- **Flexibilidad:** El operador tendrá la posibilidad de desplegar servicios de manera más rápida, ya que todo se manejaría con procesos automatizados.
- **Mejora en la administración de la red:** Desde el controlador SDN se gestionará todo el comportamiento de la red que, a su vez, distribuirá las órdenes a cada uno de los equipos bajo su gestión.
- **Reducción en tiempo:** La instalación de un nuevo nodo en la red se reduciría de días a minutos gracias a la virtualización.
- **Escalabilidad:** La red crecería de manera más ágil y rápida conforme esta va aumentando en suscriptores.
- **Beneficios para el usuario**

Como resultado de una disminución en el CAPEX y OPEX del lado del operador el usuario se verá recompensado con un bajo costo al momento de recibir su servicio contratado.

A fin de obtener un margen de ganancia, los operadores normalmente transmiten el costo de su inversión al precio final del servicio, haciéndolo accesible inicialmente a pocos usuarios. La alternativa de nuestra propuesta al

incorporar SDN y NFV lograría minimizar estos valores, haciéndolo más atractivo e incrementando su demanda de manera rápida.

La reducción en los tiempos de entrega del servicio es otro beneficio para el usuario, debido a que la tecnología avanza rápidamente, siempre hay cambios o actualizaciones presentes, y cuando finalmente salen al público, ya se encuentra una nueva alternativa disponible.

La velocidad en los datos también es otro beneficio observado, dado que las nuevas aplicaciones requieren de un mayor ancho de banda para su funcionamiento, y gracias a SDN, la nueva infraestructura ahora solo estaría dedicada al manejo de tráfico de usuario permitiendo crecer en este aspecto.

La cobertura es otro punto del cual se vería beneficiado el usuario, ya que al instalar una radio base, solo hay que montar la infraestructura de la torre y los equipos de radio, mientras que la configuración sería realizada desde la red central, con esto se lograría ampliar la cobertura de manera acelerada.

4.2 Comparación de la arquitectura propuesta con soluciones disponibles en el mercado para SDN y NFV

Actualmente los proveedores de equipos y servicios de telecomunicaciones están apuntando hacia una nueva dirección en su negocio, en donde han comenzado a incorporar en su portafolio de negocios, soluciones para la red LTE que utilizan NFV y SDN que, al ser basadas en software, ha permitido que nuevos competidores se sumen a este mercado.

A fin de confirmar si la propuesta resulta atractiva y competitiva para ser implementada en algún operador de telefonía móvil, se debe realizar un cotejo con otras soluciones disponibles en el mercado a fin de determinar los beneficios que esta ofrezca sobre las demás.

La parte económica no es tomada en consideración para este trabajo. Por consiguiente, la comparación será basada solamente a criterios técnicos.

Los puntos sobre el cual se realizará la comparación son los siguientes:

- Solución aplicada a toda la red LTE o solo a una parte.

- Hardware utilizado para la solución.
- Aplicación de NFV y SDN.

El primer criterio tiene como propósito el evaluar si la solución abarca a toda la red LTE, es decir, la red de acceso y la red central o solo si está dirigida a uno de ellos en particular. Normalmente, las estrategias de negocio en las empresas los llevan a ofrecer una solución global que se compone por soluciones más específicas, de tal manera, que les permite responder a las necesidades del operador.

El segundo criterio apunta a la utilización del hardware para la solución, si se usan equipos fabricados por el mismo proveedor o si se puede implementar sobre servidores COTS. Normalmente los proveedores de telecomunicaciones sugieren utilizar su propio hardware para un mejor rendimiento debido a que su solución fue instalada y verificada bajo estos equipos, pero, por otra parte, existen empresas dedicadas solo al desarrollo del software que no manejan este tipo de restricción.

El ultimo criterio se ha enfocado en evaluar si la solución utiliza NFV, SDN o ambos.

La comparación será efectuada sobre tres proveedores, dos de ellos perteneciente al campo de las telecomunicaciones y uno que se estaría integrándose a este campo.

- **Nokia virtualized EPC**

El Nokia vEPC es una alternativa del ampliamente implementado Nokia IP Mobile Core. Las aplicaciones de software de esta solución comparten una base de código de software común con la instalada en los equipos propietarios para garantizar una coherencia entre ellos. Esta base compartida da a los operadores móviles la capacidad de migrar sus redes a NFV y SDN a su propio ritmo con la confianza de que el EPC funciona a través de un híbrido virtual y físico brindando un comportamiento consistente y predecible. Cada una de las funciones de red vEPC son aplicaciones de software independientes que se

pueden implementar individualmente o juntas como una solución virtualizada [14].

El software de la aplicación vEPC es confiable y ha sido evaluado en campo. Se ha llegado a implementar en más de 80 redes comerciales (2G / 3G / LTE) en donde se manejan las mayores redes móviles LTE en el mundo.

Esta solución como se aprecia en la Figura 4.1, ofrece aplicaciones de software que según el requerimiento toman la función de MME, PGW, y SGW, capaz de ser instalada en cualquier equipo sea propietario o no, en cambio, para el PCRF al igual que el HSS se basa sobre hardware Nokia, algo de resaltar es que no incluye la virtualización de la función del eNodeB.

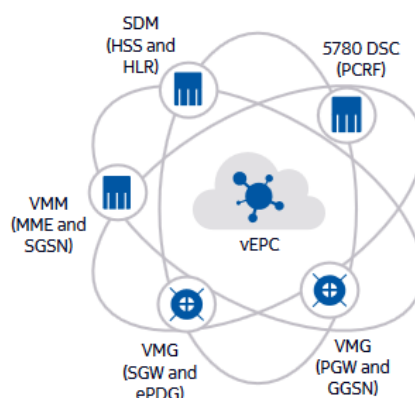


Figura 4.1 Nokia virtual EPC

- **Huawei CloudEPC**

La solución Huawei CloudEPC utiliza la tecnología de NFV para virtualizar el sistema EPC. Esta solución acelera el lanzamiento del servicio, crea un ecosistema más abierto, mejora continuamente las capacidades de innovación del servicio y reduce los costos de compra y mantenimiento del dispositivo. CloudEPC es una parte importante de la solución Huawei CloudEdge y virtualiza las funciones de MME, S-GW, P-GW, y CG. En este punto no se incluye las funciones de eNB ni HSS. El hardware sobre el cual se instala es propietario, adicionalmente no incluye la tecnología de SDN [15]. La arquitectura propuesta se aprecia en la Figura 4.2.

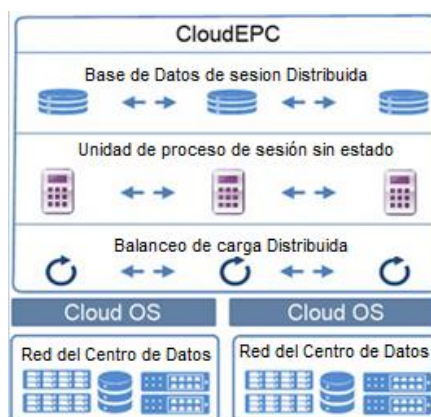


Figura 4.2 Huawei CloudEPC

- **Open EPC**

Ofertada por la empresa alemana Core Network Dynamics (CND), el OpenEPC, es una implementación de software del EPC compatible con las características y funciones requeridas por la versión 12 de la 3GPP para interconexión con redes heterogéneas de acceso de radio LTE, Wi-Fi, 3G, y 2G.

Como se aprecia en la Figura 4.3, el OpenEPC es un software que virtualiza los elementos localizados en la red central LTE, no abarca la red de acceso. Se ejecuta sobre sistemas operativos Linux, por lo que puede ser instalado en cualquier servidor de propósito general. Una de sus principales ventajas es la capacidad de ser instalada en la nube, también incluye la separación del plano de control y usuario usando el protocolo Openflow, realizando esta separación en el SGW y PGW. [16].



Figura 4.3 CND Open EPC

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el presente trabajo de investigación relacionado a la factibilidad de utilizar las redes definidas por software (SDN – Software Defined Networking) y la virtualización de funciones de red (NFV – Network Function Virtualization) sobre las redes LTE 4G se ha llegado a las siguientes conclusiones:

La arquitectura propuesta en este trabajo ha permitido conocer los desafíos, e interrogantes de integrar ambas tecnologías en la red LTE, de tal manera, que sirva como una guía para futuros estudios en este campo.

Para la aplicación de las redes definidas por software en la red LTE 4G, se ha considerado al controlador SDN como un equipo independiente, ya que, si se incorpora sus funciones a otro elemento, por ejemplo, la entidad de gestión de movilidad (MME – Mobility Management Entity) se vería la necesidad de reemplazar el equipo actual por uno que soporte ambos roles, dándole mayor responsabilidad y criticidad a un solo equipo.

El controlador SDN recibirá las órdenes del SGWc, PGWc y eNodeB-c a través de la interfaz de programación de aplicaciones (API - Application Programming Interface), para que este, posteriormente, las propague a los switches vía protocolo Openflow.

Las interfaces definidas en la arquitectura LTE 4G serán conservadas para mantener la interoperabilidad con las redes móviles 2G, 3G y 4G. De igual manera, para el entunelamiento del plano de usuario, se requiere que los switches OpenFlow soporten el protocolo de túnel de GPRS (GTP - GPRS Tunneling Protocol), ya que actualmente estos no manejan protocolos específicos para móviles.

Para aplicar la virtualización de funciones de red en la red LTE 4G se virtualizaron solamente las funciones de control, en donde, elementos como la entidad de gestión de movilidad (MME – Mobility Management Entity), la función de políticas y reglas de facturación (PCRF - Policy and Charging Rules Function) y el servidor de abonados local (HSS - Home Subscriber Server) al manejar solamente este tipo de función, fueron virtualizados por completo, mientras que, el SGWc, PGWc y eNodeB-c representan las funciones de control de la pasarela de servicio (SGW –

Serving Gateway), pasarela de paquetes de datos (PGW – PDN Gateway) y nodo B evolucionado (eNodeB – Evolved Node B) respectivamente.

Se recomienda realizar un estudio que permita dimensionar la cantidad de switches OF, Controladores SDN en una red LTE 4G.

Se recomienda realizar una investigación sobre la aplicación de la computación en la nube (Cloud Computing) a una red LTE 4G con SDN y NFV.

Se recomienda realizar un estudio sobre protocolos de entunelamiento de datos que reemplacen el uso de GTP en las redes LTE 4G con SDN y NFV.

Se recomienda desarrollar una investigación sobre el tema de seguridad en la red LTE 4G con SDN y NFV.

Finalmente se recomienda analizar alternativas al protocolo openflow en las redes LTE con SDN.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sesia Stefania, Toufiklssam, Baker Matthew, LTE: The UMTS Long Term Evolution, John Wiley & Sons 1st Ed, 2009
- [2] Serra Jiménez Carlos Alberto, Marante Rizo Francisco Reineiro, Arquitectura general del sistema LTE, <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/106/105>, fecha de consulta mayo 2016
- [3] EINashar Ayman, El-saidny Mohamed A., Sherif Mahmoud, Design, Deployment and Performance of 4G LTE Networks, John Wiley & Sons 1st Ed, 2014
- [4] Diego Kreutz, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey", IEEE, 2014
- [5] "Functional requirements of software-defined networking", ITU-T Recommendation Y.3300, 2014
- [6] "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework", ETSI GS NFV 002, 2014
- [7] Liyanage Madhusanka, Gurtov Andrei, Ylianttila, Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE Network Architecture, John Wiley&Sons 1st Ed, 2015
- [8] Ungureanu Oana-Mihaela, Flexible and Programmable Evolved Packet Core: A New SDN-based Model, <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:51f5fb88-94b8-4a4c-9e11-d71ca84551cd/datastream/OBJ/download>, fecha de consulta Septiembre 2016
- [9] K. Pentikousis, Mobileflow: Toward Software-Defined Mobile Networks, IEEE Communications Magazine, Julio 2013.
- [10] J. Mueller, SDN/Openflow Impacts on EPC Evolution, 8thKuVS/42nd ITG 5.2.4 expert meeting, Abril 2013.

- [11] A. Basta, A virtual SDN-enabled LTE EPC architecture: A case study for S-/P-gateways functions, SDN3FNS'13, Noviembre 2013.
- [12] Christos Bouras, Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks, <http://ieeexplore.ieee.org/iel7/7761914/7765220/07765232.pdf>, Octubre 2016
- [13] S. Verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, Methodology and Input Availability Parameters for Calculating OpEx and CapEx Costs for Realistic Network Scenarios, Journal of Optical Networking, Vol. 5 No6, Junio 2006
- [14] Nokia, Nokia virtualized EPC - resources.alcatel-lucent.com, <https://resources.alcatel-lucent.com/asset/182576>, fecha de consulta Julio 2017.
- [15] Huawei, Huawei CloudEPC, <http://carrier.huawei.com/en/products/core-network/Packet-Core/CloudEPC>, fecha de consulta Julio 2017.
- [16] Core Network Dynamics, OpenEPC, <http://www.openepc.com/home/overview/>, fecha de consulta Julio 2017.