



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES
DE RED (NFV) EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en
Informática y Sistemas Computacionales.

Autor:

Herrera Molina Jorge Santiago

Tutor:

Mg. Ing. Rubio Peñaherrera Jorge
Bladimir

Latacunga – Ecuador

2019



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Informática Y Sistemas
Computacionales

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **JORGE SANTIAGO HERRERA MOLINA** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED VFN EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el MSc. Ing. Jorge Bladimir Rubio Peñaherrera tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Jorge Santiago Herrera Molina

C.I.: 050257703-4



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Informática Y Sistemas
Computacionales

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED NFV EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de **HERRERA MOLINA JORGE SANTIAGO**, de la Carrera de Ingeniería en Informática y Sistemas Computacionales, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio, 2019

MSc. Ing. Jorge Bladimir Rubio Peñaherrera

C.I.: 050222229-2



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, el postulante: **HERRERA MOLINA JORGE SANTIAGO** con el título de Proyecto de titulación: **“USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED NFV EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 22 de julio de 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Phd. Gustavo Rodríguez Barcenás
CC: 1757001357

Lector 2

Nombre: Ing. Alex Santiago Cevallos Culqui
CC: 0502594427

Lector 3

Nombre: Ing. Edwin Edison Quinatoa Arequipa
CC: 0502563372

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza entregada para culminar mi carrera, a todas las personas quienes han aportado de forma directa e indirecta en la consecución de este objetivo, en especial al Ingeniero Jorge Rubio Peñaherrera por su acertada dirección en el presente proyecto de investigación.

Jorge

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, en especial a mis hijas Mayella, Guadalupe y Milagros por ser el motor que me impulsa a seguir creciendo, a mi amada esposa Sandy mi inspiración y parte fundamental en la realización de este sueño y a Carmita mi madre, por su incondicional apoyo en todos los retos emprendidos en mi vida.

Jorge

ÍNDICE

	PÁG.
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
1. INFORMACIÓN GENERAL:	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo general	5
6.1. Objetivos específicos	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1. Introducción	7
8.2. Virtualización de red NV	7
8.3. Redes definidas por software SDN.....	8
8.4. Virtualización de funciones de red NFV.....	9
8.4.1. Arquitectura NFV	12
8.4.2. Ventajas de Virtualización de funciones de red.....	14
8.4.3. Relación de NFV con SDN	14
8.4.4. Relación de NFV con Computación en la Nube.....	16
8.4.5. Virtualización y técnicas de virtualización.....	19
8.5. Estado del arte de la implementación y gestión de la NFV.....	22
8.5.1. Actividades de estandarización.....	22
8.5.2. Proyectos colaborativos e industriales	23
8.5.3. Casos de uso e implementaciones	25
8.6. Desafíos de investigación de la NFV.....	32
8.6.1. Gestión y orquestación.....	32
8.6.2. Rendimiento	32
8.6.3. Seguridad.....	33
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	34
9.1. HIPÓTESIS.....	34

10. METODOLOGÍA.....	35
10.1.Tipos de Investigación	35
10.1.1. Investigación bibliográfica	35
10.1.2. Investigación aplicada.....	36
11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	42
11.1.Aplicación del plan propuesto para la implementación de la NFV	42
11.2.Propuesta del modelo de red con tecnología NFV	48
11.2.1. Diseño Lógico y Físico	48
11.2.2. Tipo de red.....	48
11.2.3. Topología de red.....	49
11.2.4. Medios de transmisión	49
11.2.5. Normas y estándares	50
11.2.6. Políticas de seguridad.....	50
11.2.7. Servidor	50
11.2.8. Enrutador	50
11.2.9. Tarjetas de red	50
11.2.10. Sistema Operativo	51
11.3. Costos para la implementación	51
12. IMPACTOS TÉCNICOS Y SOCIALES	52
12.2.Impacto técnico	52
12.3.Impacto social	52
12.4.Impacto ambiental	52
12.5.Impacto económico.....	53
13.2.Gastos Directos.....	53
13.3.Gastos Indirectos	53
13.4.Gastos Totales del Proyecto	54
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
14.2.Conclusiones	54
14.3.Recomendaciones	55
15. BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 2. Estrategias para impulsar el uso de SDN y NFV.....	35
Tabla 3. Especificaciones de las máquinas virtuales.....	44
Tabla 4. Especificaciones del servidor.....	45
Tabla 5. Capacidades de gestión del entorno FusionSphere.	47
Tabla 6. Canales de frecuencia WIFI 2,4 GHz.	49
Tabla 7. Equipos y costos.....	52
Tabla 8. Gastos directos.....	53
Tabla 9. Gastos indirectos.....	53
Tabla 10. Gastos Totales del proyecto.....	54

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Impactos de SDN en la infraestructura.....	9
Figura 2. Visión de la NFV.....	11
Figura 3. Arquitectura de NFV.....	12
Figura 4. Arquitectura de SDN	15
Figura 5. Arquitectura de referencia de la nube NIST.....	17
Figura 6. Relación entre NFV, las SDN y la computación en la nube.....	18
Figura 7. Arquitectura básica de la virtualización de servidores.....	20
Figura 8. Arquitectura y componentes de OpenMANO.....	25
Figura 9. Arquitectura de HPE OpenNFV.....	27
Figura 10. Arquitectura de CloudNFV.....	29
Figura 11. Arquitectura de FusionSphere.	30
Figura 12. Etapas del plan para implementar NFV	37
Figura 13. Componentes de la infraestructura de la NFV	39
Figura 14. Diagrama de infraestructura de red NFV proyectada	48

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED VFN EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Autor: Jorge Santiago Herrera Molina

RESUMEN

La tecnología de virtualización de funciones de red NFV, es sin lugar a dudas el futuro de las redes de telecomunicaciones, lo que permite a la comunidad de investigadores la posibilidad de desarrollar nuevas arquitecturas, aplicaciones, y de evaluar alternativas y acuerdos de servicios con el objetivo de lograr un despliegue exitoso de esta tecnología. A pesar de esto, la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, no cuenta con herramientas didácticas en donde los estudiantes puedan desarrollar competencias teóricas y prácticas de esta tecnología de vanguardia en el ámbito de las redes informáticas; debido a esto, los profesionales informáticos que egresan de esta institución de educación superior tienen conocimientos insuficientes de la tecnología de virtualización de funciones de red NFV; es por esta razón que, en el presente proyecto de investigación se presenta un diseño de red que sirva como instrumento didáctico al laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se analizó los requerimientos necesarios para el diseño de la red, el cual fue realizado aplicando 4 etapas de un modelo formulado por el investigador, en virtud de los resultados obtenidos, se logró presentar la propuesta de diseño de red de datos que utiliza la tecnología de virtualización de funciones de red NFV, con sus respectivas especificaciones de dispositivos hardware, software y costos para que se implemente en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con la cual los estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información podrán conocer de forma teórica y práctica las tecnologías de virtualización, su creación, gestión y administración convirtiéndolos en profesionales mucho más capacitados y situándolos en la élite de los desarrolladores de redes informáticas.

Palabras claves:

- Virtualización, tecnología, arquitecturas, propuesta, diseño.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “USE OF VIRTUALIZATION TECHNOLOGY OF NFV NETWORK FUNCTIONS IN THE NETWORK LABORATORY OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”

Author: Jorge Santiago Herrera Molina

ABSTRACT

Nowadays the virtualization technology of NFV network functions is the future of telecommunications networks, which allows the research community the possibility of developing new architectures, applications, and evaluating alternatives and service agreements with the objective of achieving a successful with this technology. Despite this, the Information Systems Engineering major at the Technical University of Cotopaxi does not have teaching tols where students can develop theoretical and practical skills in the technological field of computer networks; Due to this, the computer professionals who graduate from this higher education institution have inadequate knowledge that is why it presents in this research, a network design that serves as a didactic instrument to the network laboratory at the Technical University of Cotopaxi, the necessary requirements for the network design it analyzed, and carried out in 4 stages of a model formulated by the researcher, the results obtained, it was posible to present the data network design proposal that use NFV, with is respective hardware, software device specifications and costs to be implemented in the network laboratory of the Technical University of Cotopaxi, with which students of Information Systems Engineering can know in a theoretical and practical way the virtualization technologies, their creation, management and administration turning them into professionals more trained and placing them in the developers of computer networks.

Palabras claves:

- Virtualization, technology, architectures, proposal, design.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: JORGE SANTIAGO HERRERA MOLINA**, cuyo título versa **“USO DE LA TECNOLOGÍA DE VIRTUALIZACIÓN DE FUNCIONES DE RED VFN EN EL LABORATORIO DE REDES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Mgs. Sonia Jimena Castro Bungacho
DOCENTE DE LA CARRERA DE P.I.N.E. INGLÉS
C.C. 050197472-9



1. INFORMACIÓN GENERAL:

Título del proyecto:

Uso de la tecnología de virtualización de funciones de red (NFV) en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Fecha de Inicio:

Abril de 2019

Fecha de finalización:

Agosto de 2019

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Sistemas de Información

Equipo de Trabajo:

Datos personales del coordinador de proyecto de investigación:

Nombres: Jorge Bladimir

Apellidos: Rubio Peñaherrera

Fecha de nacimiento: 16 de mayo de 1976

Teléfonos: 0995220308

E-mail: jorge.rubio@utc.edu.ec

Estudios: Universidad Técnica de Cotopaxi

Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ambato.

Títulos obtenidos: Ingeniero en Informática y Sistemas Computacionales
Diploma Superior en Gerencia Informática
Magister en Gerencia Informática mención Desarrollo de Software y
Redes.

Datos Personales del Autor:

Nombres: Jorge Santiago

Apellidos: Herrera Molina

Fecha de nacimiento: 11 de abril de 1981

C.C: 0502577034

Teléfono: 0995694910

Correo electrónico: josahemo@gmil.com

Estudios: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Área de conocimiento:

Ingeniería en Sistemas de Información

Línea de investigación:

Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) y Diseño gráfico.

Sub línea de investigación

Diseño, implementación y configuración de redes y seguridad computacional, aplicando normas y estándares internacionales.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

La tecnología de virtualización de funciones de red (Network Functions Virtualization) NFV, es sin lugar a dudas el futuro de las redes de telecomunicaciones, lo que permite a la comunidad de investigadores la posibilidad de desarrollar nuevas arquitecturas, aplicaciones, y de evaluar alternativas y acuerdos de servicios con el objetivo de lograr un despliegue exitoso de esta tecnología. La carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, no cuenta con herramientas didácticas en donde los estudiantes puedan desarrollar competencias teóricas y prácticas de esta tecnología de vanguardia en el ámbito de las redes informáticas; por lo que, los profesionales informáticos que egresan de esta institución de educación superior tienen conocimientos insuficientes de la tecnología de virtualización de funciones de red NFV; por lo que en el presente proyecto de investigación se presenta un diseño de red que sirva como herramienta al laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con la cual los estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información conozcan de forma práctica tecnologías de virtualización de funciones de red NFV, convirtiéndolos en profesionales mucho más capacitados y situándolos en la élite de los desarrolladores de redes informáticas, analizando los requerimientos necesarios para el diseño de la red, análisis que fue realizado aplicando las 4 etapas de un plan propuesto por el investigador, logrando presentar la propuesta de diseño de red de datos que utiliza la tecnología de virtualización de funciones de red NFV, con sus respectivas especificaciones de dispositivos hardware, software y costos para que se implemente en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente se puede manejar el mundo desde un dispositivo que cabe en la palma de la mano, y es que la virtualización de casi todas las actividades gracias a software y hardware ha facilitado la vida de todos, es tan común ahora escuchar palabras como apps, autómatas, y un sin número de herramientas que ayudan desde organizar las actividades diarias hasta a conducir y parquear los vehículos sin necesidad de manipular el volante, se puede entonces concluir con total seguridad que se está viviendo en la era de la inteligencia artificial.

Una de las características más fuertes de los sistemas computacionales y redes de datos, es la gran velocidad de evolución, cada vez se encuentra con mucha más rapidez nuevas versiones

de hardware y software para cualquier tipo de aplicación, los ordenadores son cada vez más pequeños y muchos dispositivos van siendo reemplazados por software capaz de realizar las mismas y muchas actividades adicionales al mismo tiempo,

La importancia de estar a la par en el conocimiento de las nuevas tecnologías y su vertiginosa evolución, crea la necesidad que el laboratorio de redes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi cuente con herramientas que permitan generar conocimientos de vanguardia en lo relacionado a las redes informáticas. La presente investigación, tiene como objetivo entregar un diseño de red que utilice tecnologías de virtualización de funciones de red NFV para que pueda ser implementada en el laboratorio de redes de la universidad, y que sirva como herramienta didáctica para que los estudiantes de sistemas de información puedan adquirir conocimientos teóricos y prácticos de esta innovadora tecnología.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación beneficiará de forma directa a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, e indirectamente a todos los jóvenes quienes desean optar por esta carrera en un futuro a mediano plazo.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El mercado de las telecomunicaciones está en constante evolución, pero su principal limitante ha sido las rígidas arquitecturas en las que ha tenido que desarrollarse por depender de los fabricantes quienes obligan a mantener estándares cerrados, las empresas proveedoras de servicios de redes de datos, capacitan y certifican técnicos con conocimientos en cada una de sus plataformas y tecnologías, por lo que, hablar de integridad de redes con dispositivos de diferentes marcas o proveedores resulta prácticamente imposible.

Aparte de esto, los dispositivos de red tienen costos elevados a más de ocupar grandes espacios dentro de armarios y racks, tanto así que algunas empresas alojan estos equipos en almacenes con grandes áreas y caros sistemas de enfriamiento, actualmente las empresas han encontrado en la migración a la virtualización de funciones de red NFV la solución a sus problemas de espacio y costos en lo que ha redes de comunicaciones se refiere, por lo que, los

futuros profesionales en sistemas de información, tienen la necesidad de conocer de forma teórica y práctica esta nueva tecnología.

El laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi no cuenta con herramientas para el uso de la tecnología de virtualización de funciones de red NFV, por lo tanto, los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información no han podido realizar prácticas usando dicha tecnología, lo que genera vacíos y desventajas en el nivel de conocimientos que debe tener un profesional informático,

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Presentar un modelo para que se implemente una red utilizando la tecnología de virtualización de funciones de red NFV a fin de que sirva como herramienta didáctica en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

6.2. Objetivos específicos

- Fundamentar científicamente los referentes teóricos que sustentan la tecnología de virtualización de funciones de red NFV.
- Analizar las diferentes clases de hardware y software, así como también los pasos a seguir para la implementación.
- Definir una propuesta de virtualización de funciones de red NFV en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Especificar los requerimientos técnicos de hardware y software que se deberán utilizar para la implementación de la propuesta.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Tabla 1: Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivo	Actividad (Tareas)	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Fundamentar científicamente los referentes teóricos que sustentan la tecnología de virtualización de funciones de red NFV.	<p>Tarea 1: Recolectar información de libros y sitios web referentes a virtualización de funciones de red NFV.</p> <p>Tarea 2: Analizar la información obtenida para generar conclusiones.</p>	Fundamentación teórica del proyecto de investigación.	• Investigación Documental
Analizar las diferentes clases de hardware y software, así como también los pasos a seguir para la implementación.	<p>Tarea 1: Revisar las especificaciones técnicas de las herramientas y dispositivos que ofrecen las diferentes empresas de telecomunicaciones.</p> <p>Tarea 2: Analizar la información obtenida para generar resultados.</p>	<p>Análisis y discusión de resultados.</p> <p>Proyecto de investigación.</p>	• Investigación Documental
Definir una propuesta de virtualización de funciones de red NFV en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	<p>Tarea 1: Establecer un procedimiento para analizar y establecer los requerimientos de la red.</p> <p>Tarea 2: Desarrollo del diseño de una arquitectura de red usando virtualización de funciones de red.</p>	<p>Diseño de arquitectura de red con tecnología NFV.</p> <p>Proyecto de investigación.</p>	<p>• Investigación Aplicada</p> <p>• Observación</p>
Especificar los requerimientos técnicos de hardware y software que se deberán utilizar para la implementación de la propuesta.	<p>Tarea 1: Definir las especificaciones técnicas de hardware y software necesarias de los elementos del modelo propuesto.</p> <p>Tarea 2: Valorización económica de los componentes tangibles e intangibles de la red propuesta.</p>	Entrega de la propuesta	• Investigación Aplicada

Fuente: El investigador

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Introducción

El campo de las redes está evolucionando a pasos agigantados y en la actualidad han aparecido tres nuevos términos: virtualización de redes (network virtualization NV), redes definidas por software (software defined networks SDN) y virtualización de las funciones de red (network function virtualization NFV). Las empresas de virtualización, hardware, redes o telecomunicaciones se han lanzado hacia estas tecnologías y ofrecen soluciones en uno o varios de estos campos, ya que no están claramente definidos los límites de cada uno o porque se encubren unos con otros en muchos casos.

Se definirá y entenderá cada una de estas tecnologías, aunque las diferencias pueden estar más relacionadas con aspectos comerciales o de marketing que con diferencias importantes entre una y otra, pero sí es necesario destacar las diferencias que ofrecen este conjunto de tecnologías respecto a las redes clásicas o las redes virtuales definidas como hasta ahora.

8.2. Virtualización de red NV

La revista tecnológica argentina Alegsa.com define a la virtualización de red de la siguiente manera; “Es la segmentación o partición lógica de una única red física, para usar los recursos de la red. La virtualización de red es lograda instalando software y servicios para gestionar el almacenamiento compartido, los ciclos de computación y las aplicaciones. La virtualización de red trata a todos los servidores y servicios en la red como un único grupo de recursos que pueden ser accedidos sin considerar sus componentes físicos” [1].

Malgosa, en su tesis realizada en 2015 "Evaluación de prestaciones mediante NFV," en la Universidad Politécnica de Cataluña, realiza esta definición: “La virtualización es la creación de una versión virtual de algún recurso tecnológico, ya sea *hardware*, un Sistema Operativo (SO) o cualquier otro. Mediante este método se consigue mejorar la capacidad de un sistema, garantizar su aprovisionamiento y satisfacer las necesidades del entorno que se está virtualizando. Utilizando la virtualización se puede partir de un sólo recurso físico y operar como si fueran varios recursos independientes” [2].

El autor del presente trabajo entiende que la virtualización de red se encarga de incorporar software a redes existentes o a segmentos de estas para mejorar la gestión de los recursos

compartidos en la red. El término virtualización es ampliamente utilizado en el marco de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), formando parte de distintos conceptos y técnicas que se aplican en las redes actuales. En todos los casos, la virtualización es una estrategia que, básicamente, permite integrar y compartir recursos y de ahí la importancia que adquiere en el desarrollo de nuevas tecnologías y en el surgimiento de nuevos servicios.

8.3. Redes definidas por software SDN

Las Redes Definidas por Software (SDN, por las siglas en inglés de *Software Defined Networks*) son una tecnología novedosa que ha modificado la forma en la que se diseñan y operan las redes de datos. En las SDN, son las aplicaciones basadas en *software* quienes determinan el comportamiento de la red, pudiéndose modificar el estado de la misma de acuerdo a sus necesidades. Además, estas aplicaciones pueden ser creadas con independencia de las empresas desarrolladoras de *software* y dispositivos de red [3].

La tecnología de redes definidas por software SDN, no es más que la administración de toda la red incluyendo sus recursos, desde un punto central a través de un software desarrollado por las empresas de telecomunicaciones o de forma independiente.

Las SDN que cumple el diseño de funcionamiento a través de las redes tecnológicas, conforme a su aplicación ha tenido que superar muchos desafíos en base a la aplicación del mismo; incluyendo a esto el tipo de hardware hacia la implantación de este sistema, donde la utilización de la tecnología SDN alcance a cubrir toda una estructura diseñada sobre una arquitectura de red, cuyos beneficios todavía no han sido alcanzados de manera óptima por las organizaciones; teniendo en cuenta que las soluciones SDN, permite que toda una red comunicacional tecnológica de una organización surta un efecto orientador a este software, habilitando en su sistema de red beneficios en sus aplicaciones externas y posibilitando el uso de esta herramienta de manera muy fluida.

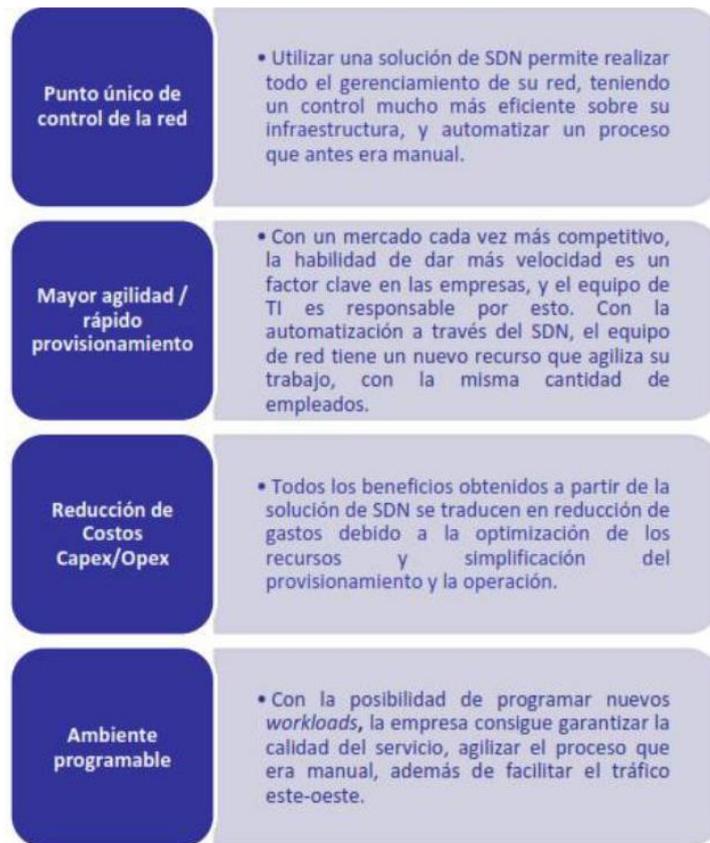


Figura 1. Impactos de SDN en la infraestructura

Fuente. [4].

8.4. Virtualización de funciones de red NFV

Alcatel-Lucent en 2013, publica un artículo en la página española digital datacenterdynamics.com titulado “Alcatel-Lucent Crea La Primera Comunidad Abierta De Virtualización De Funciones De Red (NFV)”, donde asegura que: “La NFV es una tecnología que implementa las funciones de red en el *software*, el cual se ejecuta en una amplia gama de *hardware* de servidores estándar de la industria, y que se puede mover o instanciar en varios lugares de la red (centros de datos, nodos de red y localizaciones de usuarios finales) según sea necesario, sin necesidad de instalación de nuevos equipos [5].

En su libro “Predicciones de telecomunicaciones 2015”, Huerta conceptualiza a la virtualización de funciones de red como: “NFV, consiste en utilizar recursos de dispositivos genéricos o Centros de Procesamiento de Datos (CPD), para realizar funciones de red, que hasta ahora eran llevadas a cabo por equipos de red especializados. Con la utilización de

hardware genérico se reducirá el coste y se aumentará la flexibilidad de la red por la naturaleza configurable que tiene el software” [6].

Entendiendo estas definiciones, el autor define a la NFV como una tecnología novedosa que impulsa la innovación en las redes y servicios de los Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones TSP, sustituyendo al hardware por software elimina la elevada dependencia entre ellos, con importantes beneficios: reducción de los costos, simplificación en el despliegue de nuevos servicios, optimización de la topología de la red, menor consumo energético y flexibilidad para el desarrollo y la innovación.

Este escenario se crea a partir de las necesidades dentro del mercado de las telecomunicaciones, en constante evolución, y que en los últimos años se ha encontrado ante la necesidad de utilizar arquitecturas más flexibles a la vez que se mantienen los niveles de servicio y exigencia. Los diferentes proveedores de servicios entendieron la necesidad de evolucionar las redes, puesto que los requerimientos actuales, sobre todo en lo que a volumen de información y velocidad requerida se refiere, excedían el alcance de las redes clásicas.

Puede considerarse 2012 como el inicio oficial de NFV, año en el que miembros del ETSI en Alemania, plantearon entre otros los siguientes puntos clave:

- Necesidades de diseño para nuevos equipamientos
- Costos y restricciones físicas de fabricación
- Alto nivel de conocimiento necesario para operar las soluciones propietarias de hardware y software
- Complejidad de hardware en las soluciones de fabricante
- Ciclo de vida muy corto, lo que hace mínima la vida útil de dicho hardware
- El ciclo de producto comienza antes de haber podido comenzar el retorno de inversión

Este nuevo conjunto de necesidades desemboca en la creación de nuevas soluciones, más ágiles y efectivas, nacidas en este nuevo entorno y orientadas a la agilidad, escalabilidad y facilidad de implementación.

El enfoque NFV se aleja de la concepción dependiente de varias plataformas hardware para dotar soluciones, pasando a un modelo de uso de plataformas estandarizadas que soporten soluciones virtuales que provean las soluciones de función de red requeridas.

NFV permite que el software desarrollado se despliegue en diferentes plataformas, permitiendo múltiples puntos de gestión de la red. La idea subyacente pasa además porque dichos puntos sean estándar y compatibles para soluciones de varios fabricantes.

En general, la virtualización puede enfocarse hacia los siguientes elementos:

- Dispositivos de función de red: switches, routers, puntos de acceso a red.
- Dispositivos de IT relacionados con red: firewalls, sistemas IDS (Intrusion Detection Systems), sistemas de gestión de dispositivos de red.
- Almacenamiento enlazado a red: NAS (Network Attached Storage): servidores de archivos o bases de datos conectados a la red.

De esta manera se consigue sustituir elementos realmente complejos y especializados con sistemas equivalentes que se ejecutan sobre hardware genérico. Se pasa de soluciones aisladas, sin posibilidad de compartir recursos hardware, a soluciones basadas en plataformas compartidas, que ofrecen flexibilidad e independencia de los diferentes fabricantes.

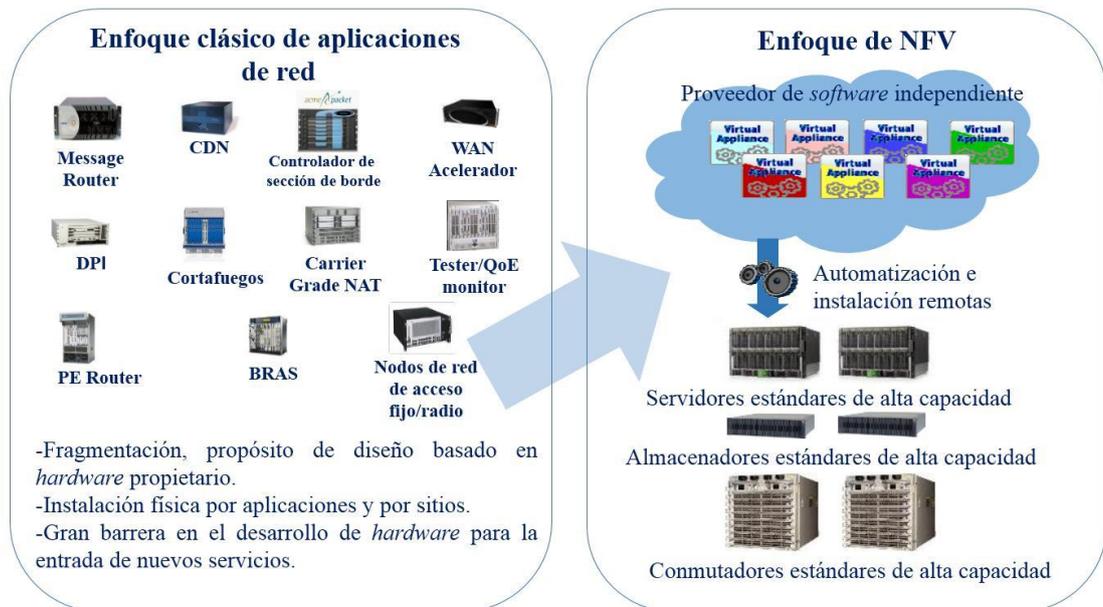


Figura 2. Visión de la NFV

Fuente. [7].

Cada fabricante / desarrollador podrá ofertar diferentes NFVs, que los proveedores podrán combinar de forma que cubran la necesidad de la solución de la mejor forma posible.

Esta serie de requerimientos hacen necesaria una estandarización, que asegure que se cumplan ciertas condiciones asociadas al marco de trabajo, como por ejemplo, hardware y sistemas de gestión independientes del fabricante, asegurar que la NFV no está personalizada para entornos particulares, etc. En general, se deben proveer pautas claras para que puedan desarrollarse tanto herramientas como hardware lo suficientemente amplios para no implicar restricciones en las soluciones asociadas.

A este respecto, la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) creó un grupo dedicado al control de iniciativas NFV/SDN, basadas en 3 criterios principales:

- **Decoupling:** separación total de hardware y software
- **Flexibilidad:** implementación automatizada y escalable de funciones de red
- **Operaciones dinámicas:** control adecuado de los parámetros de operación de las funciones de red a través de control pormenorizado y monitorización del estado de la red.

8.4.1. Arquitectura NFV

Para lograr los objetivos planteados por la NFV, se propone una arquitectura simplificada que consta de tres elementos claves: infraestructura de la NFV o NFVI, funciones de red virtuales VNF y una capa paralela de gestión y orquestación MANO.



Figura 3. Arquitectura de NFV

Fuente. [8].

La NFVI es la combinación de los recursos de *hardware* y *software* que conforman el ambiente donde las funciones de red virtuales son desplegadas. El equipamiento físico incluye *hardware* computarizado y de comunicación, que provee procesamiento y conectividad a las VNFs. Los recursos virtuales son una abstracción dichos recursos de *hardware* que se obtienen mediante una capa de virtualización (basada en un hipervisor) con la función de desacoplar los recursos virtualizados de los recursos físicos subyacentes [7].

Una VNF es una implementación de una función de red, tradicionalmente establecida en el equipamiento propietario, desplegada sobre recursos virtualizados, y es la encargada de realizar y desarrollar una acción determinada en el entorno de la NFV. La VNF es la entidad correspondiente a los dispositivos de red de hoy en día, que ahora se espera que sea entregada como software puro, libre de hardware dependiente.

La capa MANO cubre la orquestación y gestión del ciclo de vida de los recursos de *hardware* y/o del *software* que soporta la infraestructura virtualizada, y de las funciones de redes virtuales. La gestión de la NFV se centra en las tareas específicas de administración de la virtualización que son necesarias en el marco de esta tecnología. Esta capa también interactúa con las NFV externas, como es el escenario OSS / BSS (*Operation/Bussines Support System*), permitiendo su integración a la gestión de toda la red existente. La orquestación se refiere a la automatización de las operaciones, dirigido principalmente a la instanciación de los servicios con algunas capacidades para el monitoreo y reparación de fallos en la red [9].

Propuesto por el NFV ISG, bajo el auspicio del ETSI, el *framework* de Gestión y Orquestación de la Virtualización de las Funciones de Red (NFV MANO, por las siglas en inglés de *Network Functions Virtualisation Management and Orchestration*) expande el análisis en algunos bloques de la arquitectura de la NFV lanzada por la misma organización. En dicho documento, se hace énfasis en tres bloques funcionales claves para la gestión de la NFV: Orquestador de NFV (NFVO, por las siglas en inglés de *Network Functions Virtualisation Orchestrator*), Gestor de VNF (VNFM, por las siglas en inglés de *Virtualised Network Function Manager*) y Gestor de Infraestructura Virtualizada (VIM, por las siglas en inglés de *Virtualised Infrastructure Manager*). Esto suministra una arquitectura funcional más detallada y enfocada en la gestión, así como la descripción de los puntos de referencia entre los bloques internos y externos del NFV MANO [10].

La interacción y operación conjunta de todos los elementos de la arquitectura de la NFV, mediante interfaces estandarizadas, debe permitir que el entorno de virtualización del centro de datos funcione como un todo, cumpliendo con los objetivos propuestos para la NFV.

8.4.2. Ventajas de Virtualización de funciones de red

- **Conseguir mayor velocidad en el despliegue de elementos de red:** pasamos de depender de una implantación hardware complicada y larga a implantaciones software directas, mucho más rápidas.
- **Simplificar la implantación de elementos de red:** se pasa de soluciones complicadas, jerarquizadas y específicas a soluciones más flexibles, que permiten una implantación más sencilla y modificaciones más rápidas y de menor impacto.
- **Aumento en la escalabilidad de la red:** ya no se necesita un número tan elevado de equipos hardware para escalar la red, puesto que con los elementos virtualizados puede realizarse de forma directa hasta conseguir radios muy elevados.
- **Independencia de los fabricantes de equipos:** se elimina la dependencia de ciertos grandes fabricantes para algunas soluciones, lo que disminuye los costos y permite evoluciones más rápidas
- **Estándares abiertos:** permite asegurar la compatibilidad entre diferentes elementos que cumplan la norma del framework general.
- **Seguridad:** mediante la orquestación y visión conjunta de los diferentes elementos de red a través de sistemas de gestión común, se mejoran las capacidades de seguridad de la red; además, se puede dotar a los clientes de un espacio virtual para sus configuraciones personalizadas de firewalling y seguridad, sin afectar al resto de la red.
- **Desarrollo software:** la arquitectura asociada a NFV/SDN permite que desarrolladores de SW “puros” comiencen a aportar sus soluciones, aumentando el abanico de funcionalidades y potencia asociada a las diferentes aplicaciones de red.

8.4.3. Relación de NFV con SDN

La fundación de redes abiertas ONF es la principal organización dedicada a la promoción y adopción de las SDN, a través del desarrollo de estándares abiertos. La organización define a

la tecnología SDN como una arquitectura de red emergente, donde el control de la red está desacoplado del reenvío y es directamente programable. Esta migración de control, antes bien atada a los dispositivos individuales de la red, permite a la infraestructura subyacente abstraer las aplicaciones y los servicios de la red, y tratarla como una entidad lógica o virtual.

Esto posibilita la implementación de redes más flexibles, escalables, eficientes y adaptables, a las necesidades de cada organización.

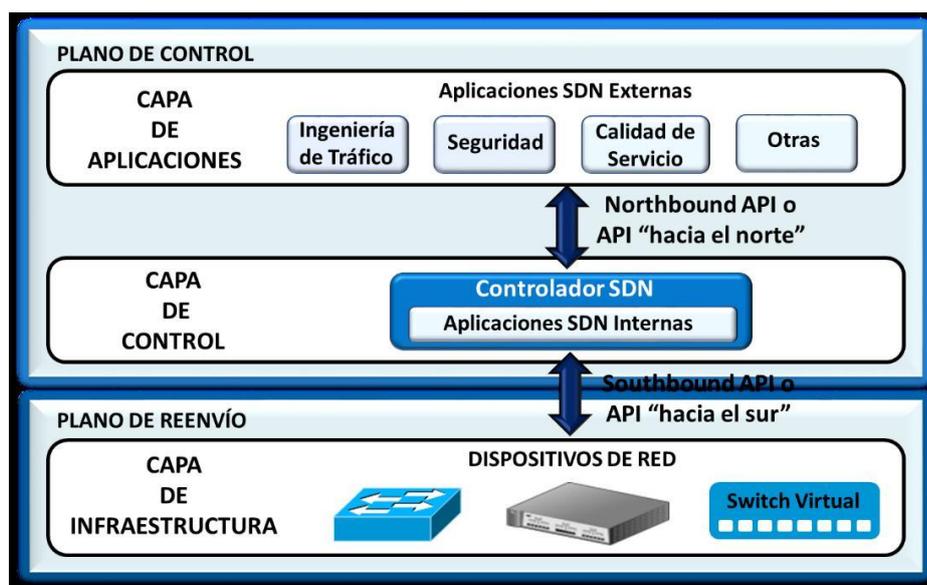


Figura 4. Arquitectura de SDN

Fuente. [11].

Un elemento importante dentro de la arquitectura SDN son los controladores, considerados el cerebro y centro de la tecnología. Estos pueden ser entendidos como un sistema *software*, o colección de sistemas, que ofrecen las siguientes funcionalidades [12]:

- Gestión del estado de la red mediante la recolección de información relevante, para proporcionarla a las aplicaciones SDN.
- Modelo de datos de alto nivel que captura las relaciones entre los recursos gestionados, las políticas y otros servicios de red prestados por el controlador.
- Sesión de control TCP (Protocolo de Control de Transmisión, por las siglas en inglés de *Transmission Control Protocol*) segura.
- Protocolo basado en estándares (*OpenFlow*) para obtener el estado de la red.

- Mecanismo de descubrimiento de dispositivos, topología y servicios, y un algoritmo de cálculo de ruta.
- Conjunto de APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones, por las siglas en inglés de *Applications Programming Interfaces*) que exponen los servicios del controlador a otras aplicaciones.
- Traducción de las necesidades o requisitos de la capa de aplicaciones a los dispositivos de red.

La existencia de un controlador SDN como uno de los componentes de la capa de gestión y orquestación de la NFV, facilita la virtualización de los recursos de red, y por tanto aumenta la automatización y flexibilidad dentro de la arquitectura de red. Las soluciones de Software Libre y Código Abierto (SLCA), que implementan la funcionalidad de controlador SDN son: Beacon, Floodlight, NOX, POX, Ryu, Trema y OpenDaylight.

Las tecnologías SDN y NFV son independientes una de la otra, pero sus conceptos y soluciones se pueden combinar para lograr mayores beneficios. Las metas propuestas por NFV pueden lograrse independientes de SDN, pero la separación entre el plano de control y de datos que propone SDN aumenta el rendimiento, simplifica la compatibilidad con implementaciones existentes, facilitando la operación y los procedimientos de mantenimiento, ventajas que NFV puede aprovechar interactuando con esta solución. De la misma forma, NFV es capaz de soportar SDN, proporcionándole la infraestructura sobre la cual el software SDN puede correr. La variante moderna de un centro de datos reside en la gestión automatizada que puede obtenerse de la interacción de NFV con SDN [9].

8.4.4. Relación de NFV con Computación en la Nube

La Computación en la Nube es un modelo que habilita convenientemente el acceso bajo demanda a través de la red a un conjunto compartido de recursos de cómputo configurables como: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un mínimo esfuerzo de gestión o de interacción por parte del proveedor de servicios. Este modelo de computación en la nube promueve la disponibilidad y se encuentra compuesto por cinco características esenciales: auto servicio del

cliente bajo demanda, acceso de red con banda ancha, concentración de recursos, elasticidad rápida y servicio contabilizado [14].

La nube es una colección de recursos virtualizados, que incluye tanto capacidades computacionales como de almacenamiento, que son facilitadas de acuerdo a las necesidades del cliente. El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) propone una arquitectura de referencia basada en la acción de cinco elementos: consumidor nube, auditor nube, proveedor nube, mediador nube y portador nube, los cuales conforman el ecosistema nube [14].

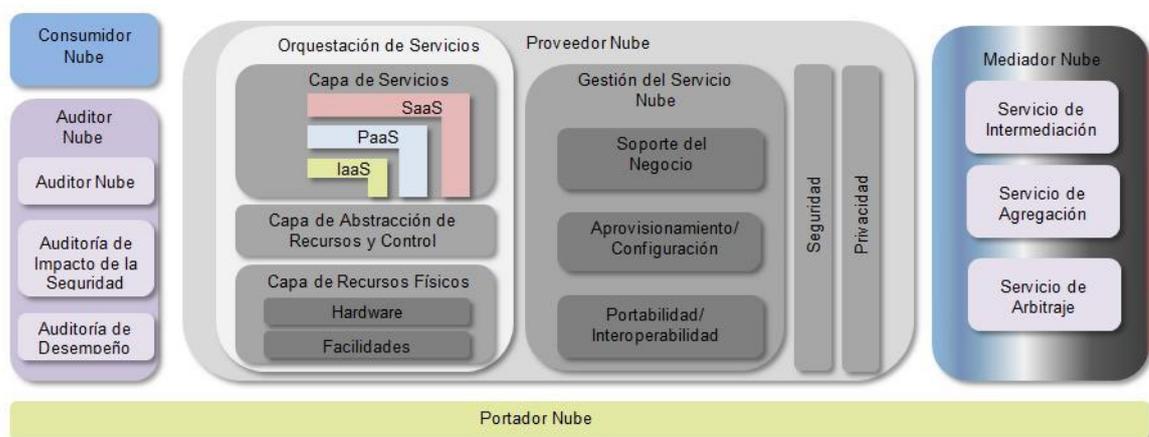


Figura 5. Arquitectura de referencia de la nube del NIST

Fuente. [15].

Existen cuatro modelos de despliegue o tipos de nube: pública, privada, híbrida y comunitaria. La nube privada es implementada, operada y administrada por una organización. Una nube pública se implementa típicamente por una empresa, con un modelo de negocio que incluye vender los servicios de nube al público en general. La nube comunitaria es desplegada por un grupo de empresas que comparten ciertos conceptos (misión, requerimientos de seguridad, políticas, etc.), no para vender servicios, sino para el funcionamiento del grupo de organizaciones que la integran. Una nube híbrida está compuesta por dos o más tipos de las nubes explicadas anteriormente [16].

La computación en la nube enfrenta importantes desafíos, muy relacionados con los retos a los que se enfrenta la NFV. Son de destacar los siguientes desafíos [17]:

- Una infraestructura típica de nube contiene recursos físicos y virtuales, *hardware* y *software* de diferentes proveedores y sistemas; lo que hace necesario que durante la

implementación de la infraestructura de virtualización, se eviten los impactos negativos en los servicios ya existentes, mientras los nuevos adquieren más valor.

- Debido al creciente aumento de los servicios y a los costos cada vez más ajustados, los proveedores de servicios deben ser capaces de desplegar una plataforma de alto rendimiento, de menor costo y con amplias facultades para el crecimiento de los servicios.
- El despliegue de una plataforma abierta, compatible con productos y servicios de terceros, es la base de la computación en la nube y debe guiar el futuro, siendo capaz de proteger las inversiones.

Las empresas pueden encontrar problemas mientras construyen la nube. Es necesario que tengan en cuenta que la solución más adecuada, es la que se ajuste a sus condiciones y necesidades.

La computación en la nube es la elección más barata para la prueba y puesta en práctica de la mayoría de los conceptos e implementaciones primarias de la NFV, por la flexibilidad de la tecnología para el rápido despliegue de nuevos servicios, su fácil escalabilidad y por permitir compartir recursos. Esto convierte a la computación en la nube en la mejor candidata para aumentar la eficiencia de la NFV al mismo tiempo que se reducen los costos, meta que persiguen los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

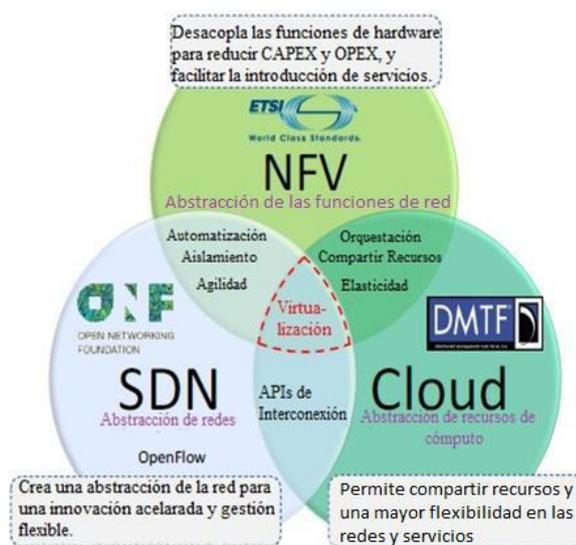


Figura 6. Relación entre la NFV, las SDN y la computación en la nube

Fuente. [9].

8.4.5. Virtualización y técnicas de virtualización

Un elemento importante dentro de la virtualización es el hipervisor o monitor de máquina virtual. Este consiste en una plataforma de *software* a través de la cual se pueden aplicar diversas técnicas de control de virtualización que permiten utilizar, al mismo tiempo, diferentes sistemas operativos en una misma computadora, donde cada sistema operativo parece tener el procesador, la memoria y otros recursos de la computadora. Sin embargo, el hipervisor es en realidad el que controla el procesador central y el resto de los recursos, la asignación de lo que se necesita para cada sistema operativo y asegura que los sistemas operativos invitados (llamadas máquinas virtuales) no puedan interrumpirse unos a otros. Los hipervisores pueden clasificarse en dos tipos [18]:

- **Tipo 1:** También denominado hipervisor nativo o *bare metal* (metal desnudo), es un *software* que se ejecuta directamente sobre el *hardware*, para ofrecer la funcionalidad antes descrita. Algunos de los hipervisores tipo 1 más conocidos son los siguientes: Kernel de Máquina Virtual (KVM, por sus siglas en inglés de *Kernel Virtual Machines*), *VMware ESXi*, *VMware ESX*, *Xen*, *Citrix*, *XenServer*, *Microsoft Hyper-V Server* y *Oracle VM*.
- **Tipo 2:** También denominado hipervisor alojado, es un *software* que se ejecuta sobre un sistema operativo para ofrecer la funcionalidad descrita. Algunos de los hipervisores tipo 2 más utilizados son: *Virtual Box*, *VMware Workstation*, *VMware QEMU*, *Microsoft Virtual Server*.

Podemos encontrar varios tipos de virtualización, entre las que se destaca, por su importancia para la NFV, la virtualización de plataformas o servidores en la cual el recurso abstraído es un sistema completo, por ejemplo un sistema o servidor. En términos generales consiste en la abstracción de todo el hardware subyacente de manera que múltiples instancias de sistemas operativos puedan ejecutarse de manera independiente, con la ilusión de que los recursos abstraídos les pertenecen en exclusiva. Esto es muy importante, ya que cada máquina virtual no ve a otra máquina virtual como tal, sino como otra entidad independiente y desconoce que comparte con ella ciertos recursos.

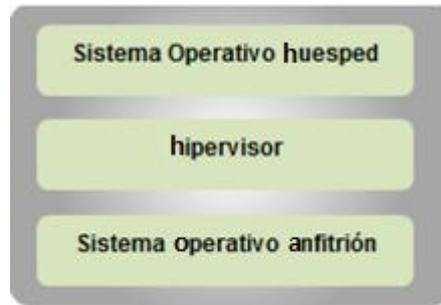


Figura 7. Arquitectura básica de la virtualización de servidores

Fuente. [19].

La virtualización de servidores basa su operación en el despliegue de varias técnicas de virtualización, entre las que se encuentran: virtualización completa utilizando traducción binaria, virtualización completa asistida por hardware, virtualización asistida por sistema operativo o paravirtualización y la virtualización ligera.

La virtualización completa utilizando traducción binaria se basa en traducir el código del kernel para reemplazar las instrucciones no virtualizables con nuevas secuencias de instrucciones, que tienen el efecto deseado en el *hardware*. Además, el código del nivel de usuario es ejecutado directamente en el procesador para una virtualización de alto rendimiento. En este tipo de virtualización cada hipervisor provee a cada máquina virtual de todos los servicios del sistema físico [18].

Esta combinación de traducción binaria y ejecución directa, permite tener al sistema operativo (SO) huésped completamente abstraído del *hardware* subyacente, mediante la capa de virtualización. El SO huésped no conoce que está virtualizado y no requiere por tanto modificación alguna en él. La virtualización completa mediante traducción binaria es la única opción que no necesita asistencia, por *hardware* o por SO, para virtualizar instrucciones sensibles y privilegiadas. El hipervisor traduce todas las instrucciones del SO en tiempo real y guarda en cache los resultados para un uso futuro, mientras que las instrucciones de nivel de usuario corren sin modificaciones a velocidad máxima. Dentro de esta categoría de virtualización se encuentran: *VirtualBox*, *VMware Workstation* y *Microsoft Virtual Server*.

Mientras que es sumamente difícil construir el sofisticado soporte para la traducción binaria, modificar el SO huésped para permitir la paravirtualización es relativamente fácil. La paravirtualización se refiere a la comunicación entre el sistema operativo huésped y el

hipervisor para mejorar el rendimiento y la eficiencia. Implica modificar el kernel del SO huésped para reemplazar las instrucciones no virtualizables con *hypercalls*, las que se comunican directamente con el hipervisor de la capa de virtualización. El hipervisor también provee interfaces de *hypercalls* para otras operaciones críticas del kernel, como son la administración de memoria, el manejo de interrupciones y la temporización. Es por ello que la paravirtualización es diferente de la virtualización completa, en la cual el SO huésped no sabe que está virtualizado. La mayor ventaja de la paravirtualización es un menor gasto general por virtualización, pero el incremento en el rendimiento con respecto a la virtualización completa, varía en dependencia de la carga de trabajo [18].

Debido a que la paravirtualización no puede soportar sistemas operativos sin modificar, su compatibilidad y portabilidad es pobre; además de que puede introducir problemas significativos en cuanto a soporte y mantenimiento en ambientes de producción, ya que requiere de modificaciones profundas en el kernel de los SO huéspedes. El proyecto de software libre *Xen* es un ejemplo de paravirtualización en el cual se virtualiza el procesador y la memoria usando un kernel de Linux modificado, y virtualiza los dispositivos de entrada - salida utilizando los controladores del SO huésped.

La virtualización completa asistida por *hardware* es una simplificación en las técnicas de virtualización. Con las mejoras que incluyen *Intel Virtualization* (Intel VT) y *AMD Virtualization* (AMD-V) se ha optimizado notablemente el rendimiento del sistema, y adicional a ello, los sistemas virtualizados se pueden ejecutar sin necesidad de modificar su código, por lo que tiene la ventaja de trabajar con todo tipo de sistemas [19].

En estos sistemas con apoyo de *hardware* lo que se hace es ejecutar el hipervisor con el máximo nivel de acceso a la CPU, mientras que los SO invitados se ejecutan en un nivel inferior. Con esta técnica, los sistemas invitados no saben que están siendo virtualizados y no tienen acceso directo a los dispositivos reales, el hipervisor será el que permite la gestión de todos los recursos computacionales a través de las instrucciones que la CPU le informe. Como ejemplos de esta técnica de virtualización se destacan: *VMware vSphere*, *Xen*, *Microsoft Hyper-V* y *KVM*.

La virtualización ligera permite la creación, utilización y gestión de las máquinas virtuales (VMs, por sus siglas en inglés de *Virtual Machines*) que hacen un consumo mínimo de los

recursos del *host*. Las VMs que se crean con estas características se les nombra contenedores y trabajan de forma aislada, creando instancias de sistema operativo que se ejecutan en el servidor físico, siendo conocidos como Servidores Virtuales Privados (SVP). En el caso de trabajar con Linux, los contenedores más sencillos se denominan *Linux Containers* (LXC) o en el caso que se quiera un contenedor con más prestaciones en cuanto el manejo de VMs, más seguridad y la interacción con otros entornos, los *Linux Container Daemon* (LXD) [2].

8.5. Estado del arte de la implementación y gestión de la NFV

La industria de las telecomunicaciones y la comunidad académica han acogido el concepto de la NFV a una velocidad sin precedentes, por lo que en la actualidad pueden encontrarse numerosos artículos, investigaciones, estudios y casos de uso de la tecnología. El análisis, por tanto, de las actividades que se realizan para impulsar el desarrollo de la NFV, son un importante punto de partida, para la implementación de esta solución de virtualización en los centros de datos de las redes de telecomunicaciones. Por esta razón, como parte del estudio del estado del arte de la NFV, se analizan actividades de estandarización, los proyectos colaborativos e industriales y casos de uso de implementaciones.

8.5.1. Actividades de estandarización

Simultáneamente a la actividad de estandarización de la NFV realizada por el ETSI, otras organizaciones en todo el mundo están estudiando y desarrollando estándares, para lograr una rápida evolución de esta tecnología. En general puede afirmarse que hay un número significativo de importantes organizaciones de telecomunicaciones de todo el mundo involucradas en las actividades de estandarización de la NFV; mientras algunas trabajan en estrecha colaboración con el ETSI, otras han identificado varios aspectos de la tecnología que no han sido suficientemente estudiados por la comunidad de investigación, y trabajan en su desarrollo, por lo que se debe reconocer los esfuerzos de la Fuerza de Trabajo de Ingeniería para Internet (IETF, por las siglas en inglés de *Internet Engineering Task Force*), de la Fuerza de Trabajo de Investigación de Internet (IRTF, por las siglas en inglés de *Internet Research Task Force*) y de la Alianza para las Soluciones de la Industria de las Telecomunicaciones (ATIS, por las siglas en inglés de *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*).

Trabajo de estandarización de la IETF

La IETF tiene conformado un grupo, denominado Grupo de Trabajo de Función de Servicios Encadenados (SFC WG, por las siglas en inglés de *Service Function Chaining Working Group*) que trabaja en el tema de entregar tráfico a través de caminos predefinidos incorporando un número de funciones de servicio encadenadas (SFC). Las SFC funcionan de forma similar a lo que describe el ETSI para los gráficos de reenvío de la NFV [20].

Trabajo de estandarización de la IRTF

El IRTF creó el Grupo de Investigación de la NFV (NFVRG, por las siglas en inglés de *NFV Research Group*), que enfoca su trabajo en la solución de los problemas relacionados tanto con las dificultades en las redes de datos, como con los recursos computarizados y de almacenamiento en los ambientes NFV [20].

Trabajo de estandarización de la ATIS

La ATIS, con el despliegue del Fórum NFV, centra su investigación en los requerimientos técnicos y en las capacidades de red que necesitan las empresas para integrar la NFV en sus perspectivas de negocio. Este proceso debe llevar a la creación de especificaciones complementarias a las ya existentes, con especial énfasis en las soluciones de código abierto y en una ágil metodología de *software* para la implementación de las capacidades antes mencionadas [20].

8.5.2. Proyectos colaborativos e industriales

Varias empresas de telecomunicaciones han integrado sus esfuerzos para el desarrollo e implementación de la NFV, de lo que han surgido importantes proyectos colaborativos e industriales: Cero orquestación, operación y gestión manual ZOOM, Open Platform for NFV OPNFV y OpenMANO.

ZOOM

ZOOM es un trabajo de investigación y desarrollo que lleva a cabo el *TM Forum* (Fórum de Telegestión, *Tele-Management Forum*), con el objetivo de definir el ambiente de operación necesario para brindar y gestionar las funciones de red virtuales, e identificar nuevos requerimientos de seguridad para proteger la infraestructura de la NFV y las propias VNFs.

Su meta es limitar o eliminar la acción del hombre en la gestión, operación y orquestación de las redes, aumentando así la eficiencia y automatización de estas [21].

OPNFV

OPNFV es un proyecto basado en la colaboración de un gran número de empresas y proveedores de servicios de telecomunicaciones, con el propósito de lograr la integración de los trabajos de estandarización, las arquitecturas y los casos de uso. Tiene como objetivo conformar una plataforma estándar de código abierto para la NFV. Entre los miembros del proyecto OPNFV se destacan: *AT&T, China Mobile, NTT DOCOMO, Telecom Italia, Vodafone, Ericsson, Huawei, Red Hat, Intel, CenturyLink, KT, Orange, SK Telecom y Sprint* [22].

Los intereses iniciales de este proyecto estaban encaminados al estudio de la infraestructura de la NFV y al gestor de infraestructura virtualizada, pero en el año 2015 ampliaron su campo de trabajo, incluyendo el estudio de la gestión y orquestación. OPNFV propone la integración de servicios extremo a extremo, y el despliegue de una arquitectura modular para la NFV.

Como parte de la primera plataforma propuesta, con el nombre de Arno, el proyecto OPNFV implementa OpenStack como VIM además de una infraestructura similar a la propuesta por el ETSI, un paso importante para hacer realidad la visión de la NFV. Esta primaria implementación ayuda a acelerar el desarrollo de las VNFs y de otros componentes de la NFV, brindándoles a los proveedores de servicios y a las empresas una base para la integración y prueba de los sistemas que componen la tecnología.

En febrero del presente año, la comunidad OPNFV presentó una segunda propuesta de plataforma, con el nombre de Brahmaputra, que incluye mejoras en las áreas de: instalación, integración continua, documentación, escenarios de prueba simples y gestión adicional de fallos.

OpenMANO

La solución pionera basada en Software Libre y Código Abierto (SLCA), para gestionar la NFV es *OpenMANO* propuesta por la empresa Telefónica, la cual provee una implementación práctica de la arquitectura de referencia NFV MANO. Cuenta con tres componentes de *software* [23].

- *openvim*: una implementación del gestor de infraestructura virtualizada (VIM en el *framework* NFV MANO).
- *openmano*: un orquestador de NFV (NFVO en la arquitectura NFV MANO).
- *openmano-gui*: una GUI (Interfaz de Usuario Gráfica) web, para interactuar con el orquestador *openmano*, a través de sus interfaces hacia el norte.

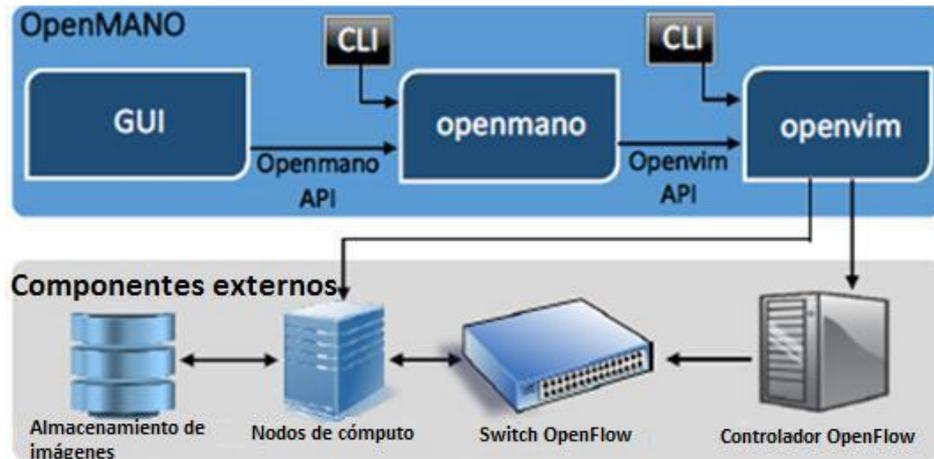


Figura 8. Arquitectura y componentes de OpenMANO

Fuente. [23]

8.5.3. Casos de uso e implementaciones

Con el objetivo de demostrar la posibilidad de implementar las ideas propuestas para la NFV, y determinar las características de su rendimiento, han sido analizados varios casos de uso, principalmente por el ETSI, y se han realizado varias implementaciones. Es de destacar que las implementaciones más grandes y completas han surgido de distribuidores de equipamiento, sobresaliendo las propuestas de Hewlett-Packard Enterprise (HPE), Huawei, Cisco y *CloudNFV*. Puede apreciarse que en la mayoría de estas implementaciones y plataformas primarias se hace énfasis en dos aspectos: las soluciones de código abierto y la interacción con tecnologías como SDN y la computación en la nube.

8.5.3.1. Casos de uso propuestos por el ETSI

Virtualización del entorno del hogar

La Virtualización del Entorno del Hogar (VoHE, por las siglas en inglés de *Virtualization of the Home Environment*) se basa en la virtualización del *gateway* residencial (RGW) y del *set*

top box (STB) como funciones de red virtuales, localizadas en los servidores del proveedor de servicios. Todas las funciones de estos dispositivos, pueden ser asumidas por la VNFs, incluyendo direccionamiento IP, traslación de direcciones, *firewall* y otras [20].

Uno de los principales beneficios de la VoHE es la gran simplificación de la electrónica en las casas, reduciendo el CAPEX. Otra ventaja es la simplificación de los servicios de RGW y de STB, lo que reduce el OPEX. Sin embargo, acceder a las VNFs de forma remota, requerirá un ancho de banda elevado, y además en zonas densamente pobladas se requerirá de varios puntos de presencia del operador, con altas capacidades de procesamiento. En la actualidad, se analiza la forma de implementar varias funciones virtuales en una misma máquina virtual.

Virtualización del Núcleo de la Red Móvil y del Subsistema Multimedia IP

La implementación de las funciones de red establecidas en la red de telefonía móvil son típicamente desplegadas sobre hardware de propósito específico, pero si se desplegaran como funciones de red virtuales, en plataformas virtualizadas sobre hardware estandarizado de la industria, traería importantes beneficios relacionados con el CAPEX, el OPEX y el dinamismo de la red para responder a las demandas de los usuarios. Para ello, se analiza la virtualización de todas las funciones o de un grupo seleccionado (registro, autenticación y conmutación), en los servidores de los proveedores de servicio.

Virtualización de las Redes de Distribución de Contenido

La virtualización de las Redes de Distribución de Contenido CDN desplegadas por algunos proveedores de servicios de manera propietaria, en forma de nodos cache CDN y nodos de control CDN, es un objetivo potencial propuesto por el ETSI. Se presta principal atención en la estabilidad y el ancho de banda requerido por las funciones de red virtuales, para la entrega de video y otros contenidos en tiempo real a los usuarios.

8.5.3.2. OpenNFV de HPE

OpenNFV es la propuesta integral para la NFV lanzada por *Hewlett-Packard Enterprise* (HPE). Está construida sobre una arquitectura de referencia abierta, de acuerdo a la arquitectura de referencia propuesta por el ETSI. Su estructura provee un conjunto de aplicaciones para los ecosistemas de los proveedores de servicios y de equipamientos [24].

Los principales componentes de *OpenNFV* son la Infraestructura NFV y el Orquestador NFV, basados en la “*HPE Converged Infrastructure*” y la “*HPE Converged Cloud*” respectivamente. Esta solución, reafirma el uso de las SDN, como resultado de las investigaciones de la empresa en esta área. La arquitectura de esta solución está basada en un diseño modular de capas y permite la integración con elementos ajenos a la misma [24].

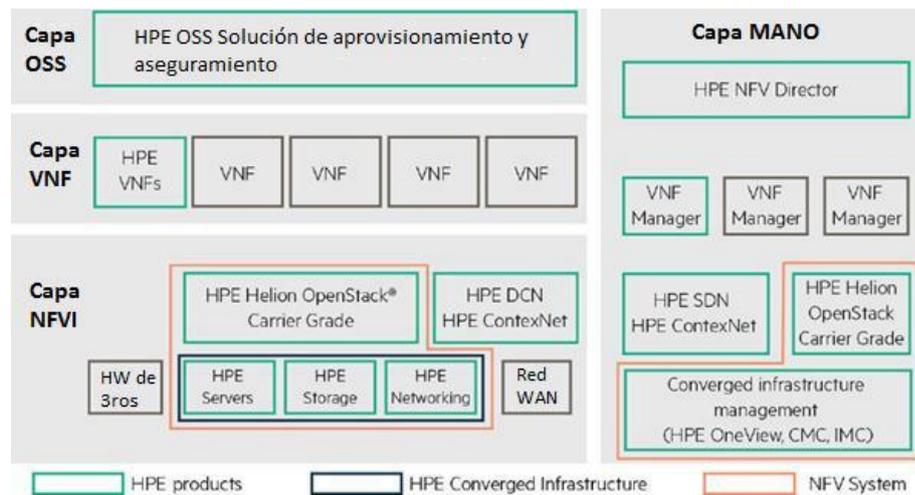


Figura 9. Arquitectura de HPE OpenNFV

Fuente. [25].

En la capa de infraestructura de la NFV (NFVI) se provee la plataforma *HPE NFV System* que integra los recursos de hardware subyacentes y provee balance de carga optimizado para correr las funciones virtuales sobre el *hardware* virtualizado. El módulo *HPE NFV System* está integrado también por el componente *HPE Helion OpenStack Carrier Grade* que, como parte de la capa de infraestructura, tiene la función de abstraer las funciones virtuales de los recursos de *hardware* subyacentes, mediante el hipervisor *KVM* al que se le han agregado extensiones para poder implementar servicios en tiempo real [24].

Como parte de la capa OSS/BSS, HPE provee una solución que permite integrar todos los requerimientos de gestión de la NFV con las soluciones ya existentes de OSS/BSS, permitiendo una completa y eficiente gestión de la tecnología y cubriendo las áreas de gestión de fallos, configuración, contabilidad, rendimiento y seguridad (FCAPS).

En la capa MANO de esta arquitectura, se propone el módulo *HPE CloudSystem*, el cual permite que la capa de infraestructura sea vista como un servicio, y el acceso a ella se realice

a través de las interfaces de programación de aplicaciones de *OpenStack*. Dentro de sus componentes principales se encuentran [24]:

- *HPE Helion OpenStack Carrier Grade*, una distribución de OpenStack que posee herramientas para dar soporte a infraestructura híbrida (virtual y física) y con garantía para Calidad de Servicio (QoS, por las siglas en inglés de *Quality of Service*).
- Controlador *SDN HPE VAN (HPE Virtual Application Network Controller)*, desarrollado para cumplir con las demandas de las aplicaciones y con soporte para el protocolo *OpenFlow*.
- *HPE OneView*, una plataforma unificada para gestionar la infraestructura proporcionada por HPE (*HPE Converged Infrastructure*).

El componente *HPE NFV Director*, implementa las funciones del orquestador de la NFV y del gestor de VNFs. Incluye la gestión y orquestación de servicios y funciones de red virtuales a través del control global de los recursos y de la aplicación de políticas específicas en cada VNF. Además, puede integrarse con OSS/BSS externos, así como con gestores de VNFs específicos [24].

La solución propuesta por HPE es una de las más completas y documentadas. Posee varios puntos en común con el framework de referencia NFV MANO y con la arquitectura general de la NFV. Además, emplea modernas tecnologías de virtualización en centros de datos, como las SDN y los gestores de nube.

8.5.3.3. CloudNFV

CloudNFV es una plataforma colaborativa para la implementación de la NFV, basada en las tecnologías de computación en la nube y SDN. En el año 2013 fue aceptada como “Prueba de Concepto” (PoC, por las siglas en inglés de *Proof of Concept*) en el marco del NFV ISG del ETSI. Las empresas que integran su comunidad son: *6WIND*, *CIMI Corporation*, *Dell*, *EnterpriseWeb*, *Overture Networks*, y *Qosmos* [26].

Esta implementación de la NFV da soporte a una gestión flexible de servicios, dispositivos virtuales y funciones, usando una estructura de servicio modelada en la jerarquía del Modelo de Datos e Información Compartida (SID) del TM Fórum GB922, lo que se realiza con el fin de dar soporte a las interfaces especificadas por el NFV ISG, pero también, para garantizar

acceso abierto a las ventajosas características de composición, despliegue y gestión de servicios, fuera del alcance de la NFV en el mundo de la telegestión.

La arquitectura de CloudNFV se basa en aplicaciones de gestión y orquestación construidas en torno a un modelo de datos y procesos llamado “Virtualización Activa”, el cual se compone de un módulo para gestión de órdenes, contratos y almacenamiento de políticas (llamado “Contratos Activos”) y otro módulo para la información del estado de los recursos (llamado “Recursos Activos”). Las órdenes de servicios son procesadas a través del bloque “Virtualización Activa” y luego suministradas sobre la infraestructura de nube, usando el orquestador *Ensemble Service Orchestrator* de *Overture Networks*, el cual instancia las VNFs a través de *OpenStack Nova* y las conecta a través de *OpenStack Neutron (Quantum)*. Es de destacar en esta arquitectura la presencia de un controlador de red que usa el protocolo *OpenFlow* para intercambiar información con sus elementos de conmutación subyacentes, así como el rol de *OpenStack* como gestor de nube [24].

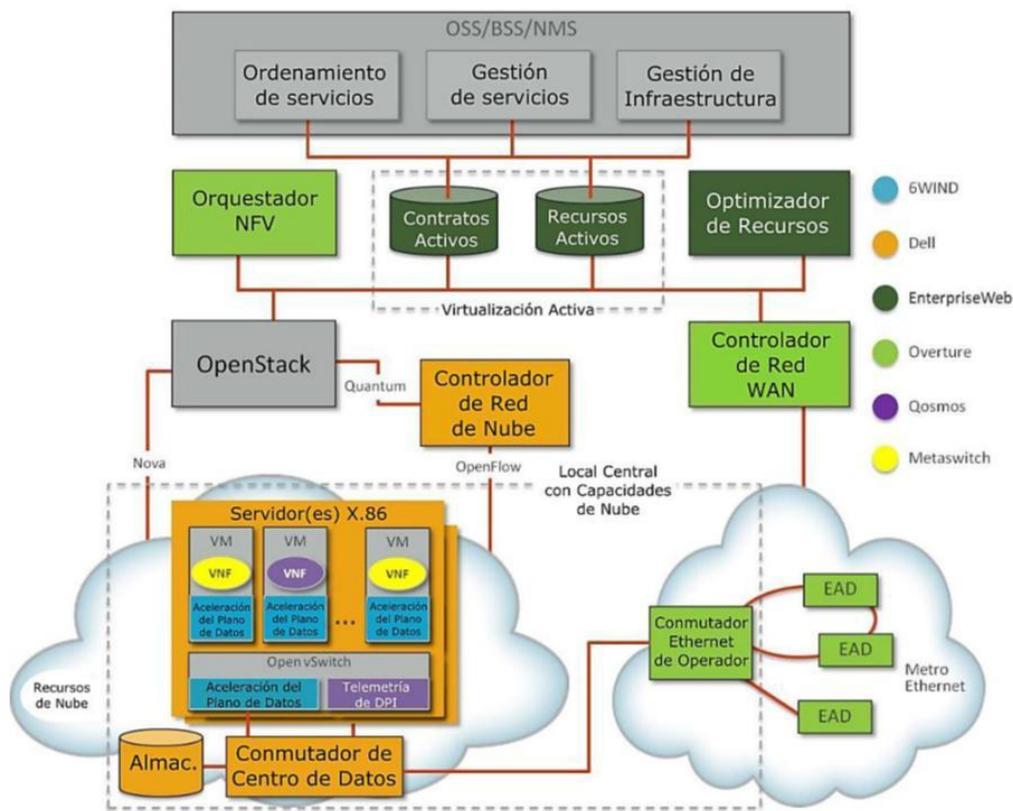


Figura 10. Arquitectura de CloudNFV

Fuente. [27].

8.5.3.4. FusionSphere de Huawei

FusionSphere es la solución de NFV, o sistema operativo de nube, propuesta por Huawei, y que forma parte de la plataforma de computación en la nube, *FusionCloud* desarrollada por la propia empresa. *FusionSphere* tiene como objetivo fundamental combinar los recursos de *hardware* heterogéneos existentes en las empresas para conformar un ecosistema elástico, unificado y lógico para el compartimiento de dichos recursos, en un solo centro de datos o a través de varios centros de datos distribuidos [3] y [24].

Según los desarrolladores de Huawei, FusionSphere provee a las empresas una alternativa flexible para construir una plataforma de nube abierta y heterogénea, beneficiándose con una gestión centralizada y una escalabilidad sostenible. Para lograr estos objetivos se diseñó una solución compatible con el estándar de API propuesto por OpenStack y con soporte para hardware y técnicas de virtualización de terceros, además de hacer un aprovechamiento eficiente de los recursos ya existentes en la red, mediante su reutilización.

La propuesta FusionSphere está siendo utilizada en más de 40 países y regiones de todo el mundo. Es aplicada a una amplia gama de esferas: gobierno, servicios públicos, energía, finanzas, transporte, salud, educación, telecomunicaciones, entre otras.

La arquitectura de FusionSphere se basa en un diseño modular y jerárquico. Sus componentes fundamentales son: FusionCompute, FusionStorage, FusionNetwork y FusionManager.

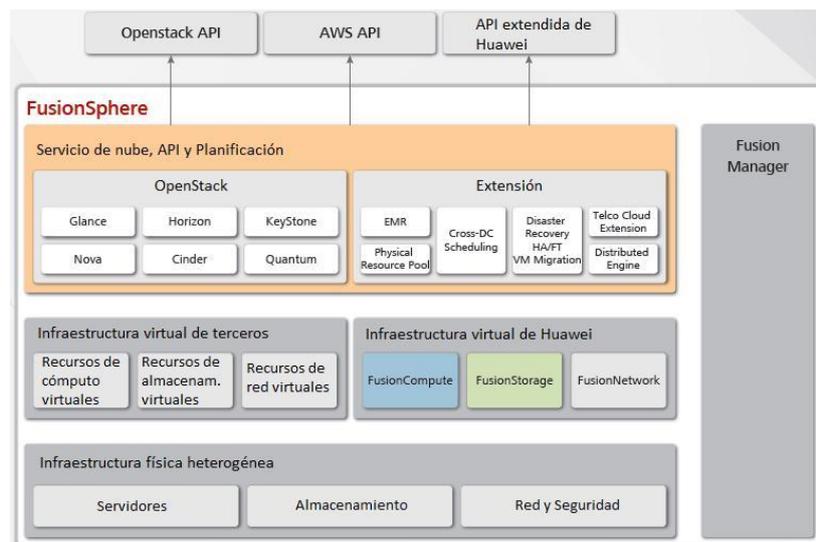


Figura 11. Arquitectura de FusionSphere

Fuente. [28].

- FusionCompute: solución de virtualización de los recursos de cómputo desarrollada por Huawei, y núcleo de la plataforma de computación en la nube de la empresa. Utiliza hipervisores del tipo bare – metal para virtualizar los recursos de los servidores, tales como CPU, memoria, dispositivos de entrada – salida; que son convertidos en recursos lógicos que pueden ser gestionados, programados y distribuidos centralmente. Permitiendo que sobre el servidor físico corran simultáneamente múltiples máquinas virtuales aisladas entre sí. Adicionalmente, posibilita migración de máquinas virtuales en caliente y levantamiento y mapeo de recursos sin utilizar.
- FusionStorage: sistema de almacenamiento definido por software (SDS, por las siglas en inglés de Software Defined Storage) y distribuido, que permite compartir y virtualizar los distintos recursos para almacenar información, posibilitando una gestión centralizada de los mismos. Se despliega en servidores de propósito general, para agrupar todos los discos en una plataforma de recursos de almacenamiento virtualizados y compartidos. Provee un completo sistema de recuperación ante fallas y respaldo de los datos.
- FusionNetwork: basado en una arquitectura SDN, y empleando el controlador SDN desarrollado por Huawei, integra un mecanismo para el tráfico de los paquetes mediante varios swiches virtuales (vSwitch) y compuertas VxLAN (Virtual Extended LAN) en cada terminal, para llevar a cabo los protocolos de encapsulación y desencapsulación. Permite que los recursos de red puedan ser orquestados fácilmente y que el flujo de tráfico de la red pueda ser transferido a través de múltiples centros de datos, además de posibilitar un ajuste dinámico del ancho de banda y de las políticas de ruteo en base a las demandas de los servicios.
- FusionManager: se encarga de la configuración y automatización en el despliegue de las funciones virtuales y de la infraestructura. Permite recopilar información de las cinco áreas funcionales de la gestión (FCAPS) de los recursos virtuales de Huawei y de terceros, permitiendo el monitoreo de todos los elementos de la red desde un portal centralizado. Provee una solución completa para la gestión y orquestación de la NFV.

La solución de la NFV propuesta por Huawei es una de las más completas y documentadas, y cuenta con el apoyo y la aprobación del ETSI NFV ISG y del proyecto OPNFV. Integra al

concepto de la NFV soluciones complementarias como la computación en la nube y las SDN. Posee una arquitectura modular, ágil y eficiente para el empleo de la virtualización en cualquier centro de datos, permitiendo la reutilización de los recursos y siendo compatible con infraestructura y soluciones de terceros.

8.6. Desafíos de investigación de la NFV

Aún con todos los beneficios anticipados de la NFV, y a pesar de la inmensa rapidez con la cual es aceptada tanto por la academia como por la industria, la NFV continúa en sus primeras etapas. Todavía hay aspectos importantes que deberían ser más investigados, y prácticas que deben quedar establecidas como estándares. Esta sección resume las direcciones cruciales que son de interés para el despliegue eficaz de la NFV.

8.6.1. Gestión y orquestación

El desarrollo de la NFV transformará a la gestión de sistemas actuales, requiriéndose cambios significativos en la forma de gestionar, operar y desplegar las redes. Estos cambios no son solo para proporcionar soluciones a redes y servicios, como se hace en las redes tradicionales, sino también para explotar el dinamismo y flexibilidad que propone el ecosistema NFV.

El desafío será alcanzar un nivel aceptable de orquestación para hacer posible que por nivel de servicio y/o usuarios, estén instanciadas coherentemente todas las funciones requeridas, basadas en la demanda de las mismas, y para asegurar su gestión. Además, el soporte para la interoperabilidad es la llave de los requerimientos de la NFV [29].

Sin embargo, mirando al framework MANO del ETSI la mayoría de los esfuerzos han estado en definir las interfaces internas, dejando de lado otros aspectos importantes. Uno de estos aspectos relevantes es la gestión centralizada de las funciones de red virtuales que se encuentran distribuidas en diferentes puntos de presencia de los proveedores de servicio; el sistema de gestión y orquestación de la NFV debe ser capaz de gestionar múltiples centros de datos y la red WAN que los intercomunica.

8.6.2. Rendimiento

El concepto fundamental de la NFV se plantea instalar las VNFs en los servidores estándar de la industria. Para esto es necesario que los proveedores de servidores, puedan producir equipamiento con independencia de las funciones virtuales que podrían correr sobre ellos en

un futuro. De igual forma, los proveedores de VNFs deberán asegurar que las mismas sean capaces de correr en los servidores primarios. Esto plantea dudas sobre si las funciones desplegadas en los servidores estándares de la industria alcanzarán un rendimiento comparable con las que corren en *hardware* especializado, y si dichas funciones serán portables entre servidores [29].

Por tanto, se considera importante estudiar cómo es necesario desarrollar y desplegar las funciones de redes virtualizadas sin degradar su rendimiento en comparación con las funciones desplegadas en equipamiento propietario (no se debe olvidar que la especialización está en contra del concepto de la NFV, que apunta a la alta flexibilidad). Se deben, además, definir formas para hacer un balance entre rendimiento y flexibilidad, muy necesario en fase de implementación de la NFV.

Otra cuestión importante, respecto al rendimiento, es que el ecosistema NFV debe permitir la distribución de las funciones de red virtuales a través de múltiples localizaciones, minimizando la latencia y los riesgos de seguridad del tráfico a largas distancias. También, es necesario analizar los requerimientos particulares de cada VNF antes de ser implementada, teniendo en cuenta que no todas necesitan de las mismas capacidades. Además, se debe tener en cuenta que las funciones de red virtuales son independientes, pero que deben existir mecanismos para la comunicación segura entre ellas, y entre instancias de una misma VNF [30].

8.6.3. Seguridad

La seguridad es un elemento importante en cualquier red, centro de datos y servicio, y en un entorno virtualizado, flexible y dinámico, esta cobra especial atención. Un entorno NFV puede ser susceptible a una variedad de riesgos de seguridad que deben ser considerados como parte del diseño de la solución de la NFV, por lo que el ambiente NFV debe ser correctamente monitoreado y controlado. Para evitar estos problemas, o al menos minimizarlos, se deben aplicar prácticas de seguridad a nivel físico, virtual y en ambientes compartidos, como [31]:

- Manejo apropiado de los certificados de seguridad y almacenamiento de las claves.
- Aplicar parches de seguridad a los sistemas operativos, hipervisores y funciones de red virtuales.

- Implementar la seguridad de las máquinas virtuales utilizando capas superpuestas y cortafuegos.
- Bloquear el acceso físico al *hardware* y a los dispositivos de almacenamiento.
- Implementar zonas seguras para las máquinas virtuales, de acuerdo a su función.
- Asegurar el sistema operativo y los hipervisores, inhabilitando puertos innecesarios y aplicando cortafuegos locales.
- Utilizar encriptación para proteger información sensible e imágenes de VNFs.
- Separar lo que ve el usuario de las VNFs, de la arquitectura de la misma, para proveer un nivel adicional de seguridad.
- Establecer prácticas de seguridad ante eventos e incidentes.
- Implementar un sólido sistema de autenticación, autorización y contabilidad (AAA, por las siglas en inglés de *Authentication, Authorization and Accounting*), estableciendo barreras para el acceso a la red y los servicios.
- Actualizar, según sea necesario, la infraestructura y el *software* de las aplicaciones virtuales.
- Controlar la instanciación, movimiento, adición o eliminación de VNFs o componentes de las mismas.

No se debe olvidar que la estabilidad de las redes de datos, conlleva compromisos y balances importantes entre los requerimientos de disponibilidad y seguridad de la misma. Una red debe ser tan segura como las metas técnicas y de negocios lo permitan, sin obviar cuestiones importantes y básicas para la seguridad de los servicios y las aplicaciones.

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

9.1.HIPÓTESIS

Se diseñará una propuesta de red que use tecnologías de virtualización de funciones de red NFV en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para que sirva como herramienta didáctica con la cual los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información puedan desarrollar conocimientos de esta tecnología.

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipos de Investigación

10.1.1. Investigación bibliográfica

Mediante la investigación bibliográfica y documental se pudo establecer las herramientas, aplicaciones y estrategias óptimas para realizar la propuesta de red con uso de tecnologías de virtualización de funciones de red en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla 2. Estrategias para impulsar el uso de NFV

Estrategia	Descripción
Reducción de costos	Infraestructura de cloud computing. Virtualización de funciones de red. Reducir los costos de operación. Escalabilidad.
Flexibilidad	Escala el servicio hacia arriba y hacia abajo rápidamente. Manipular los recursos de red de acuerdo a la demanda. Evitar bloqueo del proveedor. Introducir un nuevo servicio rápidamente.
Agilidad	Responder rápidamente a demanda de los clientes. Optimización de la red y configuración en tiempo real. Sobre la marcha crear nuevos servicio.
Automatización	Administración de la red de manera simple. Costos de operación reducidos. Redefinición del modelo de prestación de servicios. Aerodinamizado. Funciones de control y operaciones integradas.
Programación	Aplicaciones de software de red. Infraestructura transparente de red.

Fuente: El investigador

Utilizando las estrategias propuestas en la Tabla 2, las acciones a realizar para impulsar que se implemente el diseño propuesto en el presente trabajo de investigación en el laboratorio de redes son:

- Conformar un equipo con las personas que laboran en el laboratorio de redes y/o cuenta con experiencia para el manejo de ingeniería, políticas, seguridad y gestión de las redes de datos. De esta manera, la Universidad Técnica de Cotopaxi optimizará recursos, lo que permitirá satisfacer mejor las necesidades de su misión.
- Realizar un informe de los resultados obtenidos durante un tiempo definido el cual pueda dilucidar la siguientes pregunta:
¿Se cuenta con el recurso económico y la infraestructura necesaria para implementar la red propuesta para el uso de virtualización de funciones de red en el laboratorio de redes de la Universidad?
- La última fase si la pregunta planteada anteriormente es aceptable y las lecciones aprendidas permiten ser una guía para implementar y tener la madurez necesaria para poder realizar el despliegue se debe hacer ejercicios prácticos.

10.1.2. Investigación aplicada

Producto de esta investigación, se propone un modelo para la implementación de una red con tecnología NFV en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el mismo que consta de 4 etapas.

10.1.2.1. Etapas para la implementación de la NFV

Al considerarse la adopción de la NFV una gran transformación para las redes de telecomunicaciones, su implementación debe seguir fases y etapas importantes que permitan lograr un despliegue exitoso de la tecnología.

Para la implementación de la NFV es necesario lidiar con la introducción de nuevos paradigmas, asociados con los nuevos métodos de operación y gestión de las funciones de la red en ambientes virtualizados. Son necesarias nuevas capacidades para gestionar adecuadamente todos los componentes de la arquitectura de la NFV y para desplegar las máquinas virtuales correctamente en relación con el equipamiento. Una empresa puede comprar tecnologías y herramientas, pero la creación de un centro de datos totalmente

virtualizado requiere cambios en: la estructura organizacional, el modo de pensar, los procesos y la experiencia. Esta transformación necesitará tiempo y trabajo [31].

Por estas razones, para cada una de las etapas o fases necesarias para la implementación de la NFV, se deben analizar sus necesidades y requerimientos, así como las características que permiten introducir mecanismos y tecnologías innovadoras para el despliegue cada vez más rápido de las funciones de red, al mismo tiempo que se reducen costos, complejidad y se flexibiliza la operación y gestión de la red

De acuerdo a lo anterior, el modelo para diseñar la propuesta a implementar en el laboratorio de redes de la universidad, que se propone como parte del presente trabajo de investigación, consta de cuatro etapas: caracterización de la red, definición de las VNFs necesarias, definición de elementos necesarios de la Infraestructura de la NFV (NFVI) y gestión de la NFV.

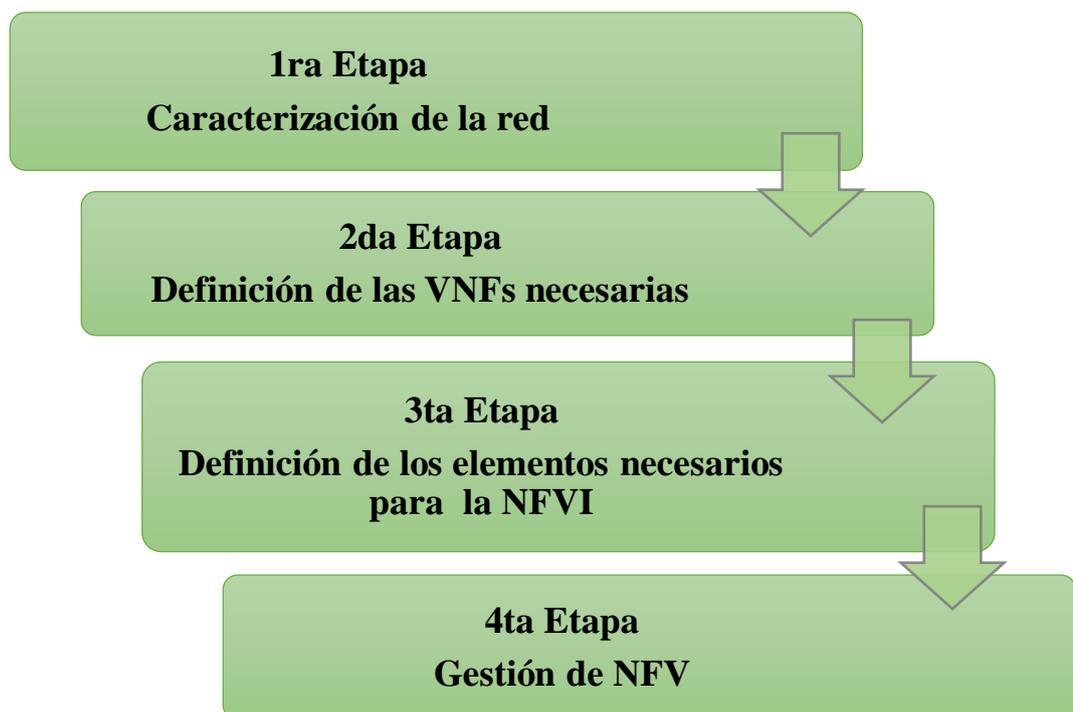


Figura 12: Etapas del modelo para implementar NFV

Fuente. El investigador

Etapa 1: Caracterización de la red

Como ya se mencionó, antes de que una organización adopte la NFV es necesario que estudie y tenga en cuenta algunas consideraciones claves, referidas a cómo diseñar su centro de datos

para respaldar la nueva tecnología y otros conceptos relacionados; por lo que como primera etapa del modelo se hace imprescindible realizar una adecuada caracterización de la red sobre la cual se desea desplegar la NFV.

Los aspectos principales en los cuales se debe centrar la atención al caracterizar la red son: servicios que se ofrecen, extensión, recursos de hardware, virtualización, nivel de capacitación del personal encargado de la operación de la red y el sistema de gestión. Una vez analizados los elementos de importancia para la NFV en el centro de datos, es necesario un estudio de costos, para conocer si se cuenta con el financiamiento suficiente para desplegar la tecnología. En caso de no contarse con el financiamiento necesario no se puede implementar la NFV, y la empresa debe trabajar en la introducción paulatina de tecnologías de la virtualización.

Etapa 2: Definición de las funciones de red virtuales (VNFs) necesarias

En el entorno de la NFV, las funciones de red virtuales son aquellos componentes de software que realizan determinada función dentro de la red.

La virtualización ofrece la oportunidad de desarrollar funciones basadas en un diseño modular, que difieren de las tradicionales funciones de red implementadas en los dispositivos propietarios. El diseño modular posibilita la descomposición de las funciones virtuales en pequeños módulos funcionales, que permiten una mejor escalabilidad, reusabilidad, gestión y una respuesta más rápida del ecosistema NFV [10].

La ejecución de esta etapa del plan para implementar la NFV, se basa en definir cuáles serían las funciones de red virtuales necesarias para la operación de la red, y en el análisis de la posibilidad de desarrollar el software necesario para dichas funciones o comprarlo a proveedores.

- Funciones de red virtuales necesarias para la operación de la red y sus servicios
- Requerimientos necesarios de las funciones de red virtuales

Etapa 3: Definición de elementos necesarios de la infraestructura de la NFV (NFVI)

La NFVI es la totalidad de los componentes de hardware y software que forman el entorno donde las funciones de red virtuales son desplegadas y ejecutadas. La infraestructura de la

NFV está compuesta por tres elementos: recursos físicos, capa de virtualización y recursos virtualizados.



Figura 13. Componentes de la infraestructura de la NFV

Fuente. [8]

El equipamiento físico es el hardware computarizado, de almacenamiento y de red, que provee procesamiento y conectividad a las VNFs. Los recursos virtualizados (CPU virtual, almacenamiento virtual, memoria virtual, etc.) son una abstracción de los recursos físicos que se obtienen mediante una capa de virtualización. Esta capa de virtualización tiene la función de desacoplar los recursos virtuales del equipamiento físico inferior, para conformar el entorno flexible y dinámico donde se ejecutan las VNFs.

Etapas 4: Gestión de la NFV

La NFV no solo tiene el beneficio de reducir costos, se trata también de ofrecer servicios de la manera más rápida y confiable posible, así como de reconfigurarlos dinámicamente para entregarlos de forma personalizada, logrando una adecuada calidad de experiencia para el usuario. Para esto es necesario gestionar la NFV de manera eficiente, para poder explotar al máximo sus beneficios. Se impone para la NFV la definición de un nuevo conjunto de funciones de gestión y orquestación, y la consecuente comunicación y dependencia entre ellas, principalmente enfocadas en la elevada automatización y en los cambios dinámicos de arquitectura, topología y entrega de servicios.

El desarrollo de la NFV transformará a la gestión de sistemas actuales, con cambios significativos en la forma de desplegar y operar las redes y sus servicios. Estos cambios son

requeridos no solo para garantizar disponibilidad y calidad al mejor costo posible, como se hacía en las redes tradicionales, sino también para explotar la eficiencia y flexibilidad que propone la NFV. El desafío será alcanzar el nivel requerido de orquestación, para hacer posible que todas las funciones estén instanciadas coherentemente, basadas en la demanda de las mismas, y para asegurar que la solución se mantenga gestionable [29].

Para establecer una adecuada gestión y orquestación de los servicios relacionados con la NFV, se debe realizar el análisis de las arquitecturas de gestión y de los componentes de las mismas. Esta etapa permitirá detectar y corregir fallos cometidos durante el despliegue de la NFV, servirá para mejorar el funcionamiento del ecosistema NFV.

Elementos a tener en cuenta para una correcta gestión de la NFV

Las soluciones de gestión tradicionales parten del concepto de que los servicios de la red son construidos sobre un conjunto de equipos cuyo *hardware* y *software* están estrechamente integrados. En el mundo de NFV, *software* y *hardware* deben ser gestionados independientemente. Esto introduce nuevos requerimientos de gestión basados en la necesidad de automatizar la entrega dinámica de servicios y funciones de red virtuales [32]:

- Rápida configuración y vinculación de VNFs, de conjunto con otros recursos requeridos por un servicio: la capacidad de encadenar varias VNFs es una iniciativa importante y diferenciadora para crear servicios innovadores y personalizados.
- Posicionamiento inteligente de servicios: automatización en la selección óptima de la localización física y de la plataforma de *hardware* para emplazar una VNF, dependiendo de varios parámetros técnicos y de negocios, tales como costo, desempeño, y experiencia del usuario.
- Escalabilidad dinámica y elástica de servicios: la orquestación maneja la instanciación de VNFs en función de las demandas en tiempo real. Esta capacidad libera recursos físicos que pueden ser usados por otros servicios. Haciendo esto, los proveedores de servicios usan con más eficiencia su infraestructura, lo que pudiera incluso optimizar el retorno de las inversiones, teniendo en cuenta que el despliegue de servicios adicionales no implicaría costos de equipamiento.

- Gestión del ciclo de vida de las VNFs y de los servicios de red: esta gestión incluye la creación, instanciación, y monitorización de una VNF o de un servicio de red, hasta su desactivación.

Arquitecturas para la gestión de la NFV

Mucho se ha trabajado en el desarrollo de la gestión y la orquestación de la NFV, sin embargo, aún en este tema existen desafíos técnicos que deben resolverse con la realización de investigaciones y actividades colaborativas. En este sentido, son varios los proyectos que llevan a cabo el desarrollo de una arquitectura y funcionalidades para la gestión y orquestación de la NFV; por ejemplo: OpenNFV, CloudNFV, OpenMANO, Cloud Band, FusionManager, ZOOM

Requerimientos a tener en cuenta para la selección del VIM, del VNFM y del NFVO

El gestor de infraestructura virtualizada (VIM) es responsable del control y la gestión de los recursos de cómputo, almacenamiento y red pertenecientes a la NFVI. Cuando se seleccione el VIM, debe tenerse en cuenta que es necesario que cumpla las siguientes funciones [33]:

- Gestionar la asignación/modificación/liberación de los recursos de la NFVI.
- Gestionar la asociación de los recursos virtualizados a los físicos, lo que implica que el VIM mantenga un inventario de la asignación que se realiza.
- Gestionar enlaces virtuales, redes virtuales, subredes y puertos, así como las políticas de seguridad para asegurar control de acceso a la red y al tráfico.
- Gestión de inventarios de recursos de *hardware* de la NFVI y recursos de *software*, y descubrimiento de las capacidades y características de tales recursos.
- Gestión de los recursos virtualizados y reenvío de información relacionada con los recursos de NFVI y el monitoreo de su uso, al orquestador.
- Gestión de imágenes del *software* de las VNFs.
- Registro de información de fallas y desempeño de los recursos de *hardware*, *software* y virtualizados, así como el reenvío de la información al VNFM y al NFVO.
- Gestión de catálogos de recursos virtualizados.

El VIM contiene dos funcionalidades importantes: un gestor de centros de datos y un controlador SDN con el objetivo de gestionar eficientemente los recursos de la infraestructura de la NFV.

El gestor de VNFs (VNFM) es responsable del ciclo de vida de las funciones de red virtuales.

El Orquestador NFV (NFVO) tiene dos responsabilidades fundamentales: la orquestación de recursos de la NFVI y la gestión del ciclo de vida de las VNFs [33].

Es necesario seleccionar los componentes que más se ajusten a las necesidades de gestión de la NFV. Siempre que sea posible, se deben buscar soluciones basadas principalmente en software libre y código abierto, por la independencia tecnológica que proveen, porque permiten acceso al software e interacción con la solución, sumado a una reducción de costos. Es necesario tener en cuenta que la NFV requiere de una elevada automatización de los procesos vinculados con la gestión y la orquestación, y que se deben cubrir las áreas funcionales de la gestión de redes y también gestionar tecnologías relacionadas como las SDN y la computación en la nube.

10.1.3. Observación

Utilizando la técnica de observación se puede establecer todos los requerimientos, parámetros y condiciones necesarias a tomar en cuenta en cada etapa del plan propuesto para elaborar nuestro diseño de red con características óptimas para convertirse en la herramienta didáctica necesaria para el laboratorio de redes de la universidad.

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para mostrar los resultados del plan propuesto en el presente proyecto de investigación, se plantea la implementación de una nueva red de datos con tecnología de virtualización de funciones de red NFV, en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para realizar prácticas de virtualización, gestión y orquestación de esta tecnología, cuyo núcleo es FusionSphere, propuesta para la NFV de Huawei.

11.1. Aplicación del modelo propuesto para el diseño de la NFV

Este enunciado se dedica a la aplicación del plan propuesto, por lo cual se estudian los requerimientos particulares del laboratorio de redes de la universidad. Posteriormente, se analizan los aspectos relacionados con las funciones de red virtuales, la infraestructura de la

NFV y la gestión y orquestación de la propuesta FusionSphere de Huawei, con el objetivo de analizar la propuesta y ajustarla a los requerimientos necesarios para el laboratorio de redes de la UTC.

Caracterización de la red requerida

Las características de la red es ser una red de área local (LAN, Local Area Networks) que utilice hardware y software orientado a cumplir con virtualización de funciones de red NFV.

En el laboratorio de redes se requieren servicios y aplicaciones de red básicos, cada cual con su importancia para la actividad que realiza. El despliegue de los servicios se adecua a las necesidades de por lo menos 20 clientes, pues se deberá proveer paquetes de máquinas virtuales en las cuales cada máquina virtual tendrá características particulares de sistema operativo, procesamiento, almacenamiento, etc. y el cliente selecciona de acuerdo a sus necesidades.

Definición de las funciones de red virtuales necesarias

En un primer momento de implementación de la NFV, es preciso introducir un grupo de funciones virtuales que permitan poner a prueba el sistema. Para ello, se propone la utilización de funciones virtuales de seguridad y conmutación.

La información correspondiente a una función virtual, o a un conjunto de ellas, puede ser consultada por los administradores de red mediante una Interfaz de Usuario Gráfica GUI, lo que permite conocer datos del conjunto de VNFs disponibles en la red, así como el rendimiento y estado de las mismas. De igual forma, las funciones de red virtuales o las instancias de las mismas, pueden ser suspendidas, dejando los recursos que utilizan reservados, o borradas, liberando dichos recursos automáticamente.

Las funciones de red virtuales, creadas mediante las plantillas, pueden contener grupos de escalabilidad o balanceadores de carga. Esto posibilita que la función escale recursos automáticamente en las horas de mayor o menor uso de la red, para aumentar o disminuir los recursos en uso, de acuerdo a los requerimientos del servicio.

Los sistemas operativos (SO) invitados que soporta la solución FusionSphere 5.1, según su lista de compatibilidad o matriz de interoperabilidad son Windows y Linux. Algunas

distribuciones particulares de los SO anteriores, pueden ser soportadas dependiendo del hipervisor que se utilice como parte de la capa de virtualización.

Tabla 3. Especificaciones de las máquinas virtuales

Indicador	Requerimiento
Máximo número de vCPUs	128
Máximo número de interfaces de red virtuales (vNICs)	12
Máximo número de discos virtuales	60
Tamaño de memoria RAM máximo	4 TB
Tamaño máximo de discos virtuales	64 TB

Fuente: Huawei, "FusionSphere 5.1: Solution Description (Cloud Data Center)"

Se puede apreciar que la propuesta FusionSphere 5.1, provee un completo sistema para el desarrollo de funciones de red virtuales, sobre una variedad de sistemas operativos y distribuciones, permitiendo un rápido aprovisionamiento de las VNFs y una escalabilidad automática de las mismas. Además, se oferta como parte de la solución de la NFV un conjunto importante de VNFs. La universidad puede adquirir las funciones de red como parte de la oferta de Huawei, o estas ser desarrolladas por el personal de la carrera de Sistemas de Información.

Definición de elementos necesarios de la infraestructura de la NFV

Se requiere de servidores físicos compatibles con la propuesta FusionSphere 5.1. La compatibilidad depende fundamentalmente del hipervisor que se utilice como solución de la capa de virtualización.

Debido a esto, se analizarán a continuación las características del servidor, en el que se introducirá la NFV.

Tabla 4. Especificaciones de servidor

Componente	Requerimientos
CPU	Procesadores Intel o AMD de 64 bit. Deben soportar la virtualización de servidores asistida por hardware.
Memoria	Mínimo 8 GB de memoria RAM. Se especifica que la memoria del servidor debe ser 3 GB más que la suma de las memorias que consumen las máquinas virtuales por separado. Por lo que el tamaño de memoria recomendado es mayor de 48 GB.
Disco duro y memoria	Tamaño mínimo de disco duro: 16 GB y recomendado: 96 GB.
USB	Soporte para conexión de memorias USB de como mínimo 4 GB.
Puertos de red	Puertos de red como mínimo: 1 y recomendados: 6. Mínimo de tasa de transferencia de datos: 1000 Mbit/s.
Arreglo de discos Espejos	Se necesitan 1 o 2 discos espejos para la confiabilidad de la instalación del sistema operativo anfitrión.

Fuente: Huawei, FusionSphere 5.1: Solution Description (Cloud Data Center)

Según las especificaciones FusionSphere soporta la operación de hipervisores de terceros y es capaz de acoplarse a una plataforma de virtualización ya existente, basada en los hipervisores KVM y Xen, pero Huawei recomienda que para realizar una implementación integrada por completo con la solución FusionSphere, la utilización de UVP. Huawei no provee ninguna especificación que limite la operación de este hipervisor en el entorno FusionSphere, de hecho, está optimizado para operar en el ambiente de virtualización que propone esta solución.

El hipervisor UVP provee los recursos virtualizados, los gestiona de manera local y asegura el aislamiento entre las máquinas virtuales. Este hipervisor tiene un dominio privilegiado, llamado Dominio 0, y otro secundario con el nombre de Dominio U. El Dominio 0 maneja todos los dominios secundarios y provee de manera centralizada los recursos a las VNFs, además de implementar mecanismos para la seguridad de las distintas máquinas virtuales.

Según los estudios realizados, se considera que UVP puede ser desplegado sobre cualquier servidor físico del tipo x86. Sobre UVP, además, se basan todos los componentes de gestión, que serán analizados más adelante, para su funcionamiento integrado. Por las razones

anteriores, como solución de la capa de virtualización se tendrá el hipervisor UVP, sobre todo por su alta integración con la propuesta FusionSphere.

Los módulos de la solución FusionSphere que se relacionan directamente con la infraestructura, tanto física como virtual, son: FusionCompute, FusionStorage y FusionNetwork. Existen importantes indicadores técnicos relacionados con estos componentes, que son necesarios conocer y analizar para su correcto despliegue.

La acción de la capa de virtualización sobre el equipamiento físico, permitirá la formación de una capa de recursos virtualizados con altas prestaciones para la ejecución de las funciones de red virtuales.

Gestión de la NFV

La gestión de la NFV, dentro de la propuesta FusionSphere 5.1, que se relaciona directamente con la infraestructura, es llevada a cabo por distintos componentes, vinculados a FusionManager, que es el módulo rector de la estructura de gestión de FusionSphere, encargado de desplegar la funcionalidad de gestión y orquestación del ecosistema NFV.

FusionManager utiliza como gestor de centro de datos OpenStack, trabajando estrechamente con esta fundación para el desarrollo de la plataforma de gestión de la solución FusionSphere. Además, incluye un controlador SDN, desarrollado por Huawei, que funciona en conjunto con OpenStack, como gestor de infraestructura virtualizada. De acuerdo con lo anterior, FusionManager, despliega las funcionalidades de VIM, de VNFM y de NFVO.

FusionManager cubre las áreas funcionales de gestión de configuración, desempeño, fallos, y contabilidad. La única área funcional que no cubre es la gestión de seguridad que en la propuesta FusionSphere, se implementa mediante una plataforma de seguridad diferente de FusionManager, pero ambas vinculadas en la operación, mantenimiento y gestión.

Tabla 5. Capacidades de gestión del entorno FusionSphere

Indicador	Requerimiento
Máximo número de servidores soportados por el nodo VRM	1024
Máximo número de clústeres soportados por el nodo VRM	32
Máximo número de VMs soportadas por el nodo VRM	10000 activas o 30000 registradas
Máximo número de servidores soportados por un clúster Lógico	128 LUNs desplegados o 64 de almacenamiento virtual
Máximo número de VMs soportadas por un clúster lógico	3000
Máximo número de servidores soportados por el sistema <i>OpenStack</i>	1024
Máximo número de sistemas <i>OpenStack</i> que pueden ser puestos en cascada	100
Máximo número de servidores físicos que pueden ser gestionados por un sistema <i>OpenStack</i> en cascada	100000
Máximo número de VMs que pueden ser gestionadas por un sistema <i>OpenStack</i> en cascada	1000000

Fuente. Huawei, FusionSphere 5.1: Solution Description (Cloud Data Center)

El despliegue y operación conjunta de todos los módulos que componen FusionSphere, es gestionado por FusionManager, que incorpora tecnologías relacionadas con la NFV para mejoras en el entorno de virtualización y control. La propuesta para la gestión y orquestación de la NFV de Huawei, FusionManager, es una solución que tiene muchos puntos y funcionalidades en común con el framework NFV MANO del ETSI, por lo que se considera una solución completa y adecuada para el funcionamiento del ecosistema NFV.

La implementación de todo el ecosistema NFV, mediante la solución FusionSphere, debe cumplir un conjunto de requerimientos que provee Huawei, de acuerdo a la extensión de la red y los servicios ofrecidos. Existen planes de despliegue para redes pequeñas, medianas y grandes.

11.2. Propuesta del modelo de red con tecnología NFV

11.2.1. Diseño Lógico y Físico



Figura 14. Diagrama de infraestructura de red NFV proyectada

Fuente. El investigador

11.2.2. Tipo de red

Tomando en cuenta el espacio físico donde se propone implementar la red, el tipo de red escogido es WLAN. Además de que, si nuestro objetivo es eliminar al máximo los elementos físicos de la red, entonces eliminaremos los medios de transmisión guiados por ondas de radiofrecuencia.

11.2.3. Topología de red

Se deberá utilizar la topología BSS (Conjunto de Servicios Básicos) puesto que, se necesitará un nodo central llamado punto de acceso (AP) que sirve de enlace para todas las demás estaciones inalámbricas que se encuentran dentro de la zona de cobertura del AP.

Para la realización de esta topología hay que configurar tanto el punto de acceso, en nuestro caso un router wifi, y de ser necesario las tarjetas inalámbricas de los clientes.

También habrá que configurar las direcciones IP de los terminales para que estén en la misma red del punto de acceso al que se quiere conectar. Existe la posibilidad de que un PC realice la función de punto de acceso para ello se deberá ponerlo en modo master.

11.2.4. Medios de transmisión

La mayoría de dispositivos con conexión WiFi operan en la banda de los 2.4 GHz, dentro de esta banda tenemos 13 canales, separados por 5 MHz. El problema es que cada canal necesita 22 MHz de ancho de banda para funcionar, por lo que se producen solapamientos que reducen la calidad de la conexión inalámbrica.

Tabla 6. Canales de frecuencia WIFI 2.4GHz

Canal	Frecuencia Central
Canal 1	2,412 GHz
Canal 2	2,417 GHz
Canal 3	2,422 GHz
Canal 4	2,427 GHz
Canal 5	2,432 GHz
Canal 6	2,437 GHz
Canal 7	2,442 GHz
Canal 8	2,447 GHz
Canal 9	2,452 GHz
Canal 10	2,457 GHz
Canal 11	2,462 GHz
Canal 12	2,467 GHz
Canal 13	2,472 GHz

Fuente. El investigador

11.2.5. Normas y estándares

A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, TIA-802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz y 5 GHz. Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi.

11.2.6. Políticas de seguridad

Aparte de las medidas que se hayan tomado en el diseño de la red inalámbrica, debemos aplicar ciertas normas y políticas de seguridad que ayudarán a mantener una red más segura:

- Inhabilitar DHCP para la red inalámbrica. Las IPs deben ser fijas.
- Actualizar el firmware de los puntos de acceso para cubrir los posibles agujeros en las diferentes soluciones wireless.
- Cambiar el Server Set ID (SSID) por defecto de los puntos de acceso, conocidos por todos. El SSID es una identificación configurable que permite la comunicación de los clientes con un determinado punto de acceso. Actúa como un password compartido entre la estación cliente y el punto de acceso.
- Reducir la propagación de las ondas de radio fuera del edificio.
- Utilizar IPSec, VPN, firewalls y monitorizar los accesos a los puntos de acceso.

11.2.7. Servidor

Se deberá utilizar como servidor un equipo HP Proliant DL 160 G5 que cuenta con un procesador de 4 núcleos de 2,0 GHz cada uno, memoria RAM máxima de 32GB con 2 tarjetas de red NIC de 1Gb/s y capacidad de almacenamiento máximo de 50 GB.

11.2.8. Enrutador

El dispositivo a utilizar es un Router / Gateway Wireless marca Huawei modelo eA280-240 CPE, que como dispositivo WIFI trabaja en la banda de 2,400 GHz a 2,4835 GHz con normas WLAN IEEE 802.11 b/g/n.

11.2.9. Tarjetas de red

Para los terminales que no cuenten con tarjetas de red inalámbricas se propone por razones de costo y agilidad usar adaptadores inalámbricos USB 2.0 marca STARTECH modelo

USB300WN2X2C Estos dispositivos reúnen la conveniencia de USB 2.0 y la alta velocidad de 802.11g, permitiéndole conectarse fácilmente a la red a velocidades de hasta 54Mbps.

11.2.10. Sistema Operativo

Huawei FusionSphere es un sistema operativo cloud enfocado al mundo empresarial que ayuda a los clientes en el despliegue de la virtualización de servidores, cloud privado, público, híbrido y de equipos, así como en la virtualización de las funciones de la red (NFV).

Otra característica a destacar de esta propuesta es que se adapta a la comunidad de recursos de código abierto OpenStack, cumpliendo con sus estándares; OpenStack es un proyecto de informática en la nube que brinda una infraestructura como servicio. Huawei FusionSphere también apoya la interfaz de programación de aplicaciones (API) de OpenStack.

Si entramos de manera más pormenorizada en sus características, hay que indicar que este sistema operativo cloud integra la plataforma de virtualización basada en Xen FusionCompute y el software de administración en cloud FusionManager. El resultado es que un amplio rango de compañías puede consolidar de forma horizontal sus recursos tanto físicos como virtuales en los centros de datos, y optimizar de forma vertical las plataformas de servicios.

Con un alto grado de elasticidad y de escalabilidad, FusionSphere proporciona administración automática y clústeres de recursos de gran capacidad. También, la seguridad es importante y por esta razón el fabricante ha trabajado en mejoras de extremo a extremo así como en múltiples planes de recuperación ante desastres, antivirus virtual e informática de confianza gracias a lo que se conoce como módulo de plataforma fiable.

Huawei FusionSphere puede soportar una cantidad máxima de 80.000 máquinas virtuales, a las que se suman otros valores como una memoria física máxima por servidor físico de 12 Terabytes; una capacidad máxima de memoria por máquina virtual de 4 Terabytes; y una capacidad máxima de disco virtual por máquina virtual de 64 Terabytes.

11.3. Costos para la implementación

Una vez establecidos los requerimientos necesarios para que se use tecnología de virtualización de funciones de red NFV, se obtiene las siguientes especificaciones de costos:

Tabla 7. Equipos y costos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SERVIDOR HP PROLIANT DL160 G5	\$ 1200,00
1	ROUTER / GATEWAY HUAWEI Ea280	\$ 500,00
10	ADAPTADORES INALÁMBRICOS USB 2.0	\$120,00
1	Equipamiento para la VDI y solución completa de virtualización para la VDI, incluyendo <i>FusionSphere</i>	\$670,00
TOTAL		\$2490,00

Fuente. El investigador

12. IMPACTOS TÉCNICOS Y SOCIALES

12.2. Impacto técnico

La virtualización de funciones de red NFV es una tecnología naciente, por lo que investigar a cerca de su desarrollo y requerimientos para su implementación, constituye un reto debido a que se necesita estar a la vanguardia de conocimientos de redes de telecomunicaciones.

12.3. Impacto social

La presente investigación aporta para que los estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Técnica de Cotopaxi, adquieran conocimientos teóricos y prácticos de la tecnología de virtualización de funciones de red VFN , entregando a la sociedad profesionales con mejores competencias en el área de redes de comunicaciones.

12.4. Impacto ambiental

El aspecto ambiental es el más beneficiado al usar esta tecnología, puesto que al cambiar hardware por software se reduce el consumo de energía eléctrica, no es necesario inmensos y potentes sistemas de enfriamiento ni cables de cobre o fibra óptica, transformando a estas redes de datos en sistemas amigables con el ambiente

12.5. Impacto económico

Económicamente, una de las ventajas de usar la virtualización es la de disminuir e incluso eliminar costos por adquisición, mantenimiento y soporte de hardware dedicado, además empresas de software libre están trabajando para entregar herramientas y aplicaciones para el uso de estas tecnologías de forma gratuita.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:

13.2. Gastos Directos

Tabla 8: Gastos Directos.

Descripción:	Cantidad:	Valor Unitario (\$):	Valor Total (\$):
Resma de papel Bond	1	4,00	4,00
Impresiones	100	0,15	15,00
Copias	100	0,02	2,00
Esferográficos	2	0,50	1,00
Anillados	3	4,00	12,00
Conexión Internet (meses)	4	18,00	72,00
USB/Flash	1	8,00	8,00
Computador (uso diario)	1	1,00	100,00
Router / Gateway UNIFI	1	80,00	80,00
Horas de investigación	50	5,00	250,00
Total Gastos Directos:			\$ 544,00

Fuente: El investigador

13.3. Gastos Indirectos

Tabla 9: Gatos Indirectos.

Descripción:	Valor (\$):
Movilidad	40,00
Alimentación	40,00
Total:	\$ 80,00

Fuente: El investigador

13.4. Gastos Totales del Proyecto

Tabla 10: Presupuesto Total del Proyecto.

Gastos:	Total (\$):
Gastos Directos	544,00
Gastos Indirectos	80,00
10% de Imprevistos	54,40
Total Presupuesto:	\$ 678,40

Fuente: El investigador

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.2. Conclusiones

Una vez finalizado el presente proyecto de investigación se puede concluir lo siguiente:

- La Virtualización de las Funciones de Red NFV es una tecnología de gran impacto que revoluciona el sector de las telecomunicaciones. Realizar una implementación adecuada de la misma trae importantes ventajas como la reducción de costos, la disminución del consumo energético y del espacio en los centros de datos, y rápida introducción de servicios en el mercado, además ofrece un abanico de posibilidades que forman un nuevo paradigma que habilita la programación de la red permitiendo programar los equipos de acuerdo a las necesidades de la organización, aunque son tecnologías muy jóvenes, son el futuro de las redes de telecomunicaciones.
- La herramienta FusionSphere de Huawei, a más de ser una de las más utilizadas es la más completa por la capacidad de adaptación que tiene para trabajar en distintos entornos de virtualización, obteniendo como resultado flexibilidad y escalabilidad.
- Aplicar el plan propuesto en el presente trabajo, entregó como resultado una propuesta de red a la medida de las necesidades tecnológicas, económicas, de servicio y didácticas para que se implemente en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica de Cotopaxi; a fin de que los estudiantes puedan acceder de forma práctica a la NFV, tecnología de gran alcance y con una gran cantidad de beneficios.

- El estudio e implementación de la tecnología de virtualización de funciones de red NFV son muy poco realizadas y aplicadas actualmente en centros de educación superior de nuestro país, por lo que la Universidad Técnica de Cotopaxi, será una de las pocas universidades que cuentan con investigaciones de este ámbito tecnológico.

14.3. Recomendaciones

Con el objetivo de darle continuidad al tema de la presente investigación, se recomienda:

- Dar seguimiento al tema de la implementación de la NFV en los centros de datos, debido a que es una tecnología aún en desarrollo y tendrá gran impacto en los años venideros.
- Realizar un análisis de los principales proveedores de funciones de red virtuales y las características de las mismas.
- Adquirir equipos que soporte NFV para poder aplicar esta tecnología en la institución, de acuerdo a las fases descritas en esta investigación.
- Invertir en el talento humano de la universidad, capacitándolo constantemente en el uso de las diferentes herramientas para crear entornos de redes definidas por software y virtualización de funciones de red e implementarlos desde las redes menos críticas en el campus hasta las que cuentan con mayor flujo de datos.
- Crear otros entornos virtualizados de escenarios de acuerdo a la necesidad de conocimiento de los estudiantes.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alegs.com.ar (2016). Obtenido de *Definición de Virtualización de redes*: [http://www.alegsa.com.ar/Dic/virtualizacion de redes.php](http://www.alegsa.com.ar/Dic/virtualizacion%20de%20redes.php)
- [2] M. Malgosa i Broto, "Evaluación de prestaciones mediante NFV," Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña, 2015.
- [3] H. P. Enterprise, "New Virtual Application Networks Innovations Advance: Software-defined Network Leadership Simplifying, Scaling and Automating the Network," 2013.
- [4] Frost & Sullivan CISCO. (2015). Software Defined Networking: Obtenido de https://www.cisco.com/web/mobile/global/la/ofertas/fastit/pdfs/fs_white_paper_cisco.pdf
- [5] Alcatel-Lucent. (2013). Alcatel-Lucent Crea La Primera Comunidad Abierta De Virtualización De Funciones De Red (NFV). Disponible: <http://www.datacenterdynamics.es/focus/archive/2013/10/alcatel-lucent-crea-una-comunidad-cloudband-abierta-0>.
- [6] Huerta, F. (2015). Predicciones de telecomunicaciones 2015. Obtenido de https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/tecnologia-media-telecomunicaciones/Deloitte_ES_TMT_Predicciones-telecomunicaciones-2015.pdf
- [7] ETSI. (2013, Octubre). Network Functions Virtualisation. An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. 16. Disponible: http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
- [8] ETSI, "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework" Diciembre 2014.
- [9] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba. 2015. Network Function Virtualization: State-of-the-art and Research Challenges.
- [10] ETSI. (2014, Diciembre). Network Functions Virtualisation (NFV): Management and Orchestration. Disponible: <http://www.etsi.org>
- [11] Y. Jarraya, "A Survey and a Layered Taxonomy of Software-Defined Networking," *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, vol. 16, 2014.

- [12] D. Thomas and K. G. Nadeau, "SDN: Software Defined Network," 2013.
- [13] M. Rischan, "SDN Controller," Advanced Network System Lab, Chonnam National University, 2014.
- [14] P. Floodlight. (2015). Floodlight OpenFlow Controller. Disponible: <http://www.projectfloodlight.org/>
- [15] NIST, 2016. "The NIST Definition of Cloud Computing."
- [16] S. J. Mohana, M. Saroja, and M. Venkatachalam, "Key infrastructure elements for cloud computing," International Journal of Computational Engineering Research, vol. 2, 2013.
- [17] Huawei. 2015. Compatible, Reliable, and Performance-Leading. Huawei FusionSphere Cloud OS. Disponible: <http://www.huawei.com>
- [18] Y. Fernández Romero and K. García Pombo, "Virtualización," *Revista Telemática*, vol. 10, 2013.
- [19] D. A. Castro Reyes and P. J. Villacis Guillen, ""Comparativa de eficiencia entre virtualización completa y paravirtualización usando diferentes hipervisores de distribución libre y propietaria sobre hardware heterogéneo en condiciones de laboratorio en función del rendimiento y el consumo de recursos"," Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación 2013.
- [20] J. Metzler and A. Metzler, "The 2016 Guide to SDN and NFV". Enero 2016.
- [21] T. Forum. 2014. ZOOM Program. Disponible: <http://www.tmforum.org>
- [22] L. Foundation. (2015). *OPNFV Whitepaper*. Disponible: https://www.opnfv.org/sites/opnfv/files/pages/files/opnfv_whitepaper_103014.pdf
- [23] Telefonica, "OpenMano " 2015.
- [24] HP, "Network functions virtualization, OpenNFV Technical white paper". Febrero 2014.
- [25] H. P. Enterprise, "HPE Helion OpenStack Carrier Grade. Enabling communications service providers to deploy NFV applications on open source software platforms", 2016.
- [26] C. Corporation. (2015). *CloudNFV*. Disponible: <http://cloudnfv.com/>
- [27] C. Corporation. (2013, CloudNFV unites the best of Cloud Computing, SDN and NFV. Disponible: <http://www.cloudnfv.com>

- [28] Huawei. (2013, Huawei FusionCloud: Agile and efficient cloud computing platform for Carrier Cloud. Disponible: <http://www.huawei.com>
- [29] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, S. Latré, M. Charalambides, and D. Lopez. 2015. Management and Orchestration Challenges in Network Function Virtualization.
- [30] C. Chapell, "NFV MANO: What is wrong & how to fix it.," *Heavy Reading*, vol. 13, 2015.
- [31] Cisco. 2016. Align Operations for Network Functions Virtualization Environments. White Paper.
- [32] ETSI. (2015, Network Functions Virtualisation (NFV); Infrastructure Overview. Disponible: <http://www.etsi.org>
- [33] D. García Leyva, "Propuesta de Arquitectura para la Gestión de la Virtualización de las Funciones de la Red (NFV)," Dpto. de Telecomunicaciones y Telemática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), 2015.
- Doherty, J. (2016). SDN and NFV Simplified: A Visual Guide to Understanding Software Defined Networks and Network Function Virtualization.
 - Stallings, W. (2015). Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud
 - Rajendra, C. (2016). Network Functions Virtualization (NFV) with a Touch of SDN
 - ISGN. (2012). ISG NFV White Paper, October 2012.
 - Huawei. (2014, HUAWEI FusionSphere: An Open Cloud Platform optimized for ICT convergence.
 - Chatras, B. (2017). Obtenido de ISG VNF: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/nfv/001099/001/01.0101_60/gs_nfv001v010101p.pdf
 - Labanowski, S. (2016). IHS Markit: VNFs present the main value of NFV. Obtenido de <http://www.telco.com/blog/ihs-markit-vnfs-present-main-value-nfv/>
 - Advisor. (2014). NFV Los beneficios y los desafíos que acompañanl. Obtenido de <http://www.br.prononlogicalis.com/globalassets/latin-america/advisors/pt/advisor-nfv---final---cuadros.pdf>

- Adivisor-SDN. (2014). SDN Cómo el nuevo universo trazado por las redes definidas por software impactará en los negocios. Obtenido de http://www.la.logicalis.com/globalassets/latin-america/advisors/es/advisor_sdn.pdf
- Shackelford, D. (2013). Estrategias de seguridad de SDN para prevenir ataques a la red. Obtenido de <http://searchdatacenter.techtarget.com:> <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/reporte/Estrategias-de-seguridad-de-SDN-para-prevenir-ataques-a-la-red>
- POMEYROL, J. (2014). seguridad-en-la-nube. Obtenido de <http://www.muysseguridad.net/2014/03/26/seguridad-en-la-nube>
- Networkworld. (2014). SDN: perfiles de usuario y criterios de evaluación (1). Obtenido de <http://www.networkworld.es:> <http://www.networkworld.es/sdn/sdn-perfiles-de-usuario-y-criterios-de-evaluacion-1>
- Lemke, A. (2014). Redes SDN: Llevar la funcionalidad NFV al siguiente nivel. Recuperado el 25 de 04 de 2016, de <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/redes-sdn-llevar-la-funcionalidad-nfv-al-siguiente-nivel>
- C. Corporation. (2013, CloudNFV unites the best of Cloud Computing, SDN and NFV. Disponible: <http://www.cloudnfv.com>
- Huawei. (2013, Huawei FusionCloud: Agile and efficient cloud computing platform forCarrier Cloud. Disponible: <http://www.huawei.com>

ANEXOS

Anexo 1.- Glosario de términos

TÉRMINO	DEFINICIÓN	
	INGLÉS	ESPAÑOL
API	<i>Application Programming Interface</i>	Interfaces de Programación de aplicaciones
ATIS	<i>Alliance for Telecommunications Industry</i>	Alianza para la Industria de las Telecomunicaciones
BB Forum	<i>Broadband Forum</i>	Foro de Banda Ancha
CDN	<i>Content Delivery Networks</i>	Redes de Distribución de Contenidos
DC	<i>Data Center</i>	Centro de Datos
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>	Protocolo de Configuración de Host Dinámico
DNS	<i>Domain Name System</i>	Sistema de Nombres de Dominio
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i>	Protocolo de Autenticación Extensible
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>	Protocolo de Transferencia de Archivos
FW	<i>Firewall</i>	Cortafuegos
GW	<i>Gateway</i>	Puerta de Enlace
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>	Infraestructura como servicio
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>	Fuerza de Trabajo de Ingeniería para Internet
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>	Subsistema Multimedia IP
IP	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet
IRTF	<i>Internet Research Task Force</i>	Fuerza de Trabajo de Investigación de Internet

ISG	<i>Industry Specification Group</i>	Grupo de Especificaciones Industriales
ISP	<i>Internet Services Provider</i>	Proveedor de Servicios de Internet
IT	<i>Information Technology</i>	Tecnologías de la Información
LAN	<i>Local Area Networks</i>	Redes de Área Local
LB	<i>Load Balancer</i>	Balancedor de Carga
LTE	<i>Long Term Evolution</i>	Evolución a largo término
LUN	<i>Logical Unit Number</i>	Número de Unidad Lógico
LXC	<i>Linux Containers</i>	Contenedor de Linux
MANO	<i>Management and Orchestration</i>	Gestión y Orquestación
MCN	<i>Mobile Cloud Networking</i>	Red Móvil en la Nube
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>	Multiprotocolo General de Conmutación de Etiquetas
NAT	<i>Network Address Translation</i>	Traducción de Dirección de Red
NFV	<i>Network Functions Virtualisation</i>	Virtualización de las Funciones de Red
NFVI	<i>Network Functions Virtualisation Infrastructure</i>	Infraestructura de Virtualización de Funciones de red
NFVO	<i>Network Functions Virtualisation Orchestrator</i>	Orquestador de Virtualización de Funciones de Red
NFVRG	<i>Research Group of NFV</i>	Grupo de Investigación de las NFV
NIC	<i>Network Interface Card</i>	Tarjeta de interfaz de red
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>	Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
NS	<i>Network Service</i>	Servicio de red
ODL	<i>Open Daylighth</i>	
ONF	<i>Open Networking Foundation</i>	Fundación para la creación de Redes Abiertas

OPNFV	<i>Open Platform for NFV</i>	Plataforma Abierta para las NFV
OSI	<i>Open System Interconnection</i>	Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos
PaaS	<i>Platform as a Service</i>	Plataforma como servicio
RAID	<i>Redundant array of independent disks</i>	Arreglo redundante de discos espejos
SaaS	<i>Software as a Service</i>	Software como servicio
SCSI	<i>Small Computer System Interface</i>	Interfaz de Sistema para Pequeñas Computadoras
SDN	<i>Software Defined Networks</i>	Redes Definidas por Software
SDS	<i>Software Defined Storage</i>	Almacenamiento Definido por Software
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>	Protocolo simple de gestión de red
TCP	<i>Transfer Control Protocol</i>	Protocolo de Control de Transporte
TIA	<i>Telecommunications International Association</i>	Asociación Internacional de Telecomunicaciones
TIC		Tecnologías de la Informática y la Comunicación
TMF	<i>Tele-Management Forum</i>	Foro de Tele-gestión
TSP	<i>Telecommunications Services Providers</i>	Proveedores de Srvicios de Telecomunicaciones
UVP	<i>Universal Virtualization Platform</i>	Plataforma Universal de Virtualización
VDI	<i>Visual Desktop Interface</i>	Interface de pantalla visual
VIM	<i>Virtualised Infrastructure Manager</i>	Gestor de Infraestructura Virtualizada
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>	Red de Área Local Virtual
VM	<i>Virtual Machine</i>	Máquina Virtual

VNF	<i>Virtualised Network Function</i>	Función de red virtualizada
VNFM	<i>Virtualised Network Function Manager</i>	Gestor de Función de Red Virtualizada
VoHE	<i>Virtualization of the Home Environment</i>	Virtualización del Entorno del Hogar
VSA	<i>Virtual Storage Access</i>	Acceso al almacenamiento virtual
VSAM	<i>Virtual Storage Access Method</i>	Método de acceso al almacenamiento virtual
VPN	<i>Virtual Private Network</i>	Red Privada Virtual
VRM	<i>Virtualization Resource Management</i>	Gestor de los recursos de virtualización
WAN	<i>Wide Area Network</i>	Red de Área Extendida

Anexo 2.- Resumen de las actividades de estandarización de NFV

Organización	Descripción de la organización	Área de trabajo	Descripción de la actividad que realizan
ETSI	Grupo líder de estándares industriales	NFV	Arquitectura de NFV, descripción de la infraestructura, NFV MANO, seguridad y confiabilidad, resistencia y métricas de Calidad de Servicio (QoS).
3GPP SA5	Grupo de gestión de las telecomunicaciones de 3GPP	Telefonía móvil de banda ancha	Trabaja en conjunto con el ETSI, estudiando la gestión de las VNFs.
IETF SFC WG	Grupo de trabajo del IETF	NFV	Proponer un nuevo enfoque para brindar servicios y su operación. Una arquitectura para la función de servicios encadenados, la gestión y las implicaciones de seguridad.
ATIS NFV Forum	Grupo líder de estándares industriales	NFV	Desarrollo de especificaciones para NFV, centrándose en la interoperabilidad con las redes tradicionales.
BB Forum	Consortio líder de la industria que desarrolla especificaciones para las redes de banda ancha.	NFV en las redes de banda ancha	Colabora con el ETSI para conseguir un enfoque consecuente y la arquitectura común y necesaria para soportar las VNFs.

Anexo 3.- Resumen de los proyectos industriales de relevancia de las NFV

Proyecto	Tipo de proyecto	Líder y/o fundador	Área de trabajo	Objetivos principales
ZOOM	Asociación de TSPs	TM Forum	NFV	Posibilitar un despliegue más rápido de servicios, mediante la automatización. Modernizar los modelos de operación y negocio.
OPNFV	Proyecto colaborativo	Fundación Linux	NFV	Construir una plataforma de referencia de código abierto para NFV.
OpenMANO	Proyecto de distribuidor	<i>Telefonica</i>	SDN, NFV	Implementación del <i>framework</i> MANO de ETSI.
MCN	Proyecto de investigación	Unión Europea	SDN, NFV	Implementar en la nube todos los componentes de operación de la red móvil.
UNIFY	Proyecto de investigación	Unión Europea	NFV	Desarrollar una plataforma automatizada, dinámica y granular.
T-NOVA	Proyecto de investigación	Unión Europea	SDN, NFV	Diseñar e implementar una plataforma MANO para NFV.
OpenStack	Grupo de trabajo	Fundación OpenStack	Computación en la nube, NFV	Identificar elementos necesarios para el despliegue y gestión de servicios de telecomunicaciones.
OpenDaylight	Proyecto colaborativo	Fundación Linux	SDN, NFV	Desarrollar una plataforma de código abierto para SDN y NFV.