

Universidad Latina, Campus Heredia  
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones con Énfasis en  
Telecomunicaciones

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Electrónica  
en Telecomunicaciones

Virtualización y Software en las Telecomunicaciones de Costa Rica

Ing. Esteban Camilo Brenes Gómez

Heredia, Costa Rica  
Abril 2020



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Virtualización y Software en las Telecomunicaciones de Costa Rica, por el estudiante: **Esteban Camilo Brenes Gómez**, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de **Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones** de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en **Telecomunicaciones**:

---

Ing. Ángel Alejo Quiroz García

Tutor

---

Ing. Luis Andrés Brenes Oses, MRT

Lector

---

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega

Representante

## CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR

Heredia, 13 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Virtualización y Software en las Telecomunicaciones de Costa Rica, elaborado por el estudiante Esteban Camilo Brenes Gómez, para optar por el grado de Licenciatura en Electrónica y Comunicaciones, con énfasis en Telecomunicaciones.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y, por tanto, lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



---

Ing. Ángel Alejo Quiroz García

Tutor

## CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR

Heredia, 13 de Mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Virtualización y Software en las Telecomunicaciones de Costa Rica, elaborado por el estudiante Esteban Camilo Brenes Gómez, para optar por grado de Licenciatura en Electrónica y Comunicaciones, con énfasis en Telecomunicaciones.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y, por tanto, lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



---

Ing. Luis Andrés Brenes Oses  
Lector

## CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

Zarcelero, 13 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

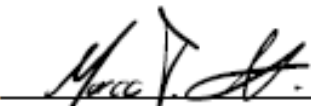
SD

Estimados señores:

Por este medio yo, Marco Araya Alvarado, mayor, casado, Filólogo y docente de Literatura, incorporado al colegio de Licenciados y Profesores (COLYPRO), con el número de carné 55800, vecino de Zarcelero, Alajuela, portador de la cédula de identidad número 2-0599-0237, hago constar:

1. Que he revisado el trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Electrónica y Comunicaciones, con énfasis en Telecomunicaciones, denominado “Virtualización y Software en las Telecomunicaciones de Costa Rica”.
2. Que el trabajo final de graduación es sustentado por el estudiante Esteban Camilo Brenes Gómez.
3. Que al documento final se le han realizado las revisiones y correcciones pertinentes en cuanto a acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otros aspectos relativos al campo filológico.

En espera de que mi participación satisfaga sus requerimientos y los de la Universidad Latina, se suscribe atentamente



---

MSc. Marco Araya Alvarado

## “Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

---

*Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.*

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Brenes Gomez, Esteban Camilo

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería en Electrónica con Énfasis en Telecomunicaciones autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Virtualización y Software en las telecomunicaciones de Costa Rica

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 13 del mes mayo de año 2020 a las 19:00 . Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:



## Introducción

La presente investigación está direccionada a la exploración y análisis de algunas de las más reconocidas tendencias globales en la rama de las telecomunicaciones; el estudio resulta innovador por el hecho de que a partir del estado de la cuestión se pudo concluir que el conocimiento actual sobre la materia, en publicaciones de renombre, es prácticamente nulo.

El objetivo de la exploración es realizar un análisis de las tecnologías SDN (Redes definidas por Software) y NFV (Virtualización de Funciones de Red), a partir del cual poder dar respuestas a algunas preguntas importantes como el origen, el funcionamiento, la arquitectura, los beneficios y los perjuicios que presentan estas tecnologías.

En la actualidad las SDN y la NFV ya no se catalogan como tecnologías nuevas, pues se han dedicado varios años a su estudio, e incluso muchos fabricantes de equipos de telecomunicaciones las emplean con éxito en sus sistemas; en este estudio se analizarán algunas de esas entidades, y además se realizará una investigación sobre casos llevados a cabo en Latinoamérica.

En Costa Rica hoy día existen tres grandes empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones (Kolbi, Movistar-Tigo y Claro), las cuales ofrecen diversos servicios de telefonía móvil (diferentes tipos de red, llamadas internacionales, planes empresariales, por citar algunos), así como servicios fijos (cable, internet, entre otros). El enfoque de estudio radica en descubrir si estas entidades cuentan con las tecnologías SDN y NFV, y determinar si estarían dispuestos a adoptarlas para robustecer sus operaciones.

## Resumen

La investigación se basa en la exploración y estudio de las redes empleadas por los principales operadores de servicios móviles en Costa Rica: Claro, Telefónica e ICE. En el estudio se evalúan las diferentes características que poseen las redes de cada una de las entidades mencionadas, con el fin de determinar si es posible que con sus formas actuales puedan brindar los servicios que el mercado moderno demanda, los cuales requieren, entre otros rubros, la tenencia de altos anchos de banda, una baja latencia de las redes, así como la posibilidad de ejecutar millones de conexiones de manera simultánea.

Por otra parte, en este trabajo se lleva a cabo una encuesta direccionada a determinar los conocimientos en redes definidas por software y en virtualización de funciones virtuales que poseen los ingenieros de planificación de cada una de las operadoras analizadas. La idea de la encuesta no es estratificar a los ingenieros según lo que sepan o desconozcan, sino valorar la viabilidad de la investigación como un hipotético refuerzo para sus operaciones.

El procedimiento para la elaboración del estudio se basó, en primer lugar, en una investigación exhaustiva de las nuevas tecnologías mencionadas, seguido por una revisión profunda del desempeño actual de la red, y por último, la ejecución y análisis de la encuesta mencionada líneas atrás. La suma de estos tres rubros, no solo lleva a la conclusión cerrada de si es factible o no que los operadores puedan brindar estos servicios en el país, sino además logra discriminar cuáles tecnologías y bajo qué situaciones particulares resultan más convenientes para cada una de las entidades analizadas.



## Índice de contenidos

Introducción.....	vii
Resumen.....	viii
Capítulo 1. PROBLEMA Y PROPÓSITO .....	2
1.1. Síntoma.....	2
1.2. Causas.....	3
1.3. Pronóstico .....	4
1.4. Control al pronóstico .....	5
1.5. Formulación del problema.....	6
1.6. Sistematización del problema .....	8
1.7. Objetivo general.....	9
1.8. Objetivos específicos .....	9
1.9. Estado actual de la investigación.....	10
1.10. Metodología .....	12
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. Marco situacional .....	15
2.2. Marco Conceptual o Marco Teórico del Objeto de Estudio.....	17
2.2.1. SDN .....	17
2.2.1.1. ¿Qué es SDN?.....	17
2.2.1.2. Cálculo de rutas distribuidas.....	19
2.2.1.3. Sistemas cerrados .....	22
2.2.1.4. Estándares de SDN .....	25
2.2.1.5. Arquitectura de SDN.....	26
2.2.1.6. Ventajas de SDN .....	30
2.2.2. NFV (Network function Virtualization) .....	33

2.2.2.1. Definición .....	33
2.2.2.2. Historia de la virtualización de funciones de red .....	34
2.2.2.3. Arquitectura de NFV .....	35
2.2.2.4. La importancia de NFVI .....	39
2.2.2.5. Los beneficios de la virtualización de funciones de red .....	40
2.2.2.6. El mercado de NFVI.....	41
2.2.3. Importancia de adoptar SDN y NFV.....	42
2.3. Hipótesis .....	48
2.4. Limitaciones .....	49
2.5. Alcance .....	50
Capítulo 3. DESARROLLO.....	52
3.1. Mediciones de latencia.....	52
3.2. Análisis de capacidades.....	52
3.3. Análisis de infraestructura y virtualización .....	53
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Bibliografía .....	64
Glosario .....	66
Anexos .....	67

## Índice de tablas

Tabla 1. Capacidades dependiendo de la tecnología y el escenario.....	45
Tabla 2. Requerimientos de latencias dependiendo de experiencia de usuario .....	47
Tabla 3. Capacidad de cada operador según topologías .....	52
Tabla 4. Capacidad de cada operador según topologías .....	53
Tabla 5. Capacidad de cada operador según topologías .....	54
Tabla 6. Cantidad de personas encuestadas por empresa .....	55
Tabla 7. Conceptos generales y arquitectura sobre SDN .....	55
Tabla 8. Conceptos generales y arquitectura sobre FNV .....	56
Tabla 9. Soluciones a labores y empresas por medio de SDN y NFV .....	57
Tabla 10. Preparación de las empresas en términos de SDN y NFV .....	58
Tabla 11. Conocimientos sobre 5G.....	59
Tabla 12. Despliegue de 5G.....	60

## Índice de figuras

Figura 1. Plano de control y reenvío en redes actuales .....	19
Figura 2. Separación del Plano de control en SDN .....	20
Figura 3. Ejemplo de balanceo de Tráfico en redes actuales.....	21
Figura 4. Ejemplo de balanceo de Tráfico utilizando SDN .....	22
Figura 5. Ejemplo de redes con sistemas cerrados .....	23
Figura 6. Ejemplo de redes con sistemas controlados por SDN .....	23
Figura 7. Comparación redes actuales y SDN .....	26
Figura 8. Arquitectura de SDN .....	27
Figura 9. Arquitectura de NFVI.....	36
Figura 10. Requerimientos de Redes 5G .....	44
Figura 11. Capacidades que dependiendo de la tecnología y el escenario .....	45

# CAPÍTULO I

# CAPÍTULO 1. PROBLEMA Y PROPÓSITO

## 1.1. Síntoma

Muchos de los problemas que se presentan en el ámbito de las comunicaciones se deben a resistencia al cambio, aunado a la dificultad que envuelve la rápida implementación de nuevas tecnologías, a sabiendas de que estas resultan ser sumamente cambiantes, y las entidades procuran no invertir de manera igual de rápida en herramientas que quizás involucionen de forma prematura en el mercado.

Cada vez que emerge una nueva tecnología a nivel global, en Costa Rica regularmente se aplica de manera tardía o inclusive no llega a implementarse del todo.

Las telecomunicaciones en el mundo están cambiando de manera muy acelerada, y si las empresas no quieren quedarse atrás en la carrera comercial con sus competidores deben aceptar estas nuevas tecnologías e implementarlas, ya que la tendencia global a nivel de telecomunicaciones es construir redes cada vez más simples y fáciles de mantener; o sea, que no se trata simplemente de un problema de infraestructura, puesto que con una rápida implementación de las nuevas tecnologías se puede beneficiar a los usuarios finales, ya sea implementando nuevos modelos de negocios o proveyendo condiciones que favorezcan a las empresas en general, beneficios que hoy por hoy resultan imperantes en el modelo operacional de cualquier entidad comercial.

## 1.2. Causas

Existen varias razones del porqué en Costa Rica los servicios de telecomunicaciones sufren un alto retraso en el lanzamiento de las nuevas tecnologías. Una de las más importantes es que Costa Rica no es un país líder en las telecomunicaciones, situación que resulta sumamente difícil de revertir, ya que países potencia en dicha área, como Estados Unidos, China y Korea, dedican una enorme porción de sus presupuestos para el desarrollo de tecnologías, a sabiendas de que el mundo siempre está expectante de los avances que lleguen de estas latitudes, y conscientes de que estos les representan amplios porcentajes de sus PIBs.

Otra de las grandes causas del rezago del país en cuanto a las telecomunicaciones es el conocimiento técnico que se posee, el cual resulta básico en comparación con las tres potencias mencionadas atrás; esta carencia es el principal motivo de estudio de esta tesis, pues se tiene como fin visualizar de qué modos se podría acelerar el desarrollo de estas tecnologías en Costa Rica, para lo cual es indispensable conocer a fondo lo que ocurre a nivel global en el área de las telecomunicaciones, pero además, y no menos importantes, visualizar cómo las grandes empresas de telecomunicaciones presentes en el país están desarrollando sus sistemas y operaciones para adaptar sus tecnologías en Costa Rica.

### **1.3. Pronóstico**

Si se cotejan las telecomunicaciones del país con las de países primermundistas se logra vislumbrar que, de no actuar a la misma velocidad con la que actualmente el mercado global demanda, Costa Rica sufrirá un enorme rezago a nivel tecnológico; por ejemplo: si no se despliegan en un tiempo y forma oportunos las redes 5G no se venderán en el país los dispositivos de este tipo de red, lo cual generará que se desaprovechen todos los beneficios tecnológicos que esta tecnología sugiere, provocando un letargo enorme nivel de la industria, y generando un efecto dominó en el que muchas empresas podrían incluso, en el peor de los casos, llegar a valorar el cierre de operaciones en el país.

Otra consecuencia es que si no adoptan oportunamente los cambios a nivel de redes de telecomunicaciones no se van a poder ofrecer los servicios que requieren los consumidores finales, como son la baja latencia, la alta capacidad y las conexiones ilimitadas. Todo esto con precios bajos y con altas disponibilidades.



## **1.4. Control al pronóstico**

En la investigación se llevan a cabo análisis de cada una de las redes, esto con el fin de determinar los parámetros principales para el desarrollo de las nuevas tecnologías, como lo son las latencias, la capacidad y la infraestructura.

Posteriormente, este análisis se complementa con una investigación sobre las tecnologías arriba citadas, con el fin de poder realizar una encuesta general a empleados que trabajan directamente con las redes. Esto con el fin de determinar el conocimiento actual en el país sobre las principales tendencias en telecomunicaciones, y visionar qué tecnologías y modos de ejecución podrían llevarse a cabo en el entorno local.

La encuesta también pretende definir si las empresas estudiadas cuentan con sistemas que pudiesen soportar estas tecnologías, con el afán de sugerir qué tendrían que hacer si las redes no fueran óptimas, y asimismo consultar si estarían anuentes a introducirlas.

Por último, se lleva a cabo un análisis de los datos recolectados, y a partir de las hipótesis iniciales, aunadas al desarrollo de la investigación, se delimitan las principales conclusiones generadas con el estudio.

## 1.5. Formulación del problema

El principal problema anexo a la hipótesis inicial del estudio radica en qué tan preparadas están las redes de telecomunicaciones del país para adoptar las tecnologías nuevas en redes de telecomunicaciones; está claro que significará un cambio enorme a nivel de equipamiento, donde se tendrá que avanzar de manera gradual y de la forma más acelerada posible, y para lo cual se deberá invertir una gran cantidad de fondos, tanto en tecnologías como en horas hombre.

Normalmente los grandes proveedores de servicios no suelen adoptar cambios bruscos respecto a sus operaciones cotidianas, ya que, al vivir de las sanas finanzas, deben procurar la optimización de las inversiones hechas en hardware y software. Por lo tanto, los cambios a nivel de SDN y NFV tienen planearse e implementarse de manera paulatina, de forma que no provoquen gastos extraordinarios que lleguen a debilitar la estabilidad económica ni la imagen de la organización.

Existe una tendencia global a nivel de redes, por lo que resulta necesario conocer a cabalidad las características que definen esta nueva tecnología, así como lo que representan sus avances e implementación a nivel mundial.

Si se aspira a alcanzar un equilibrio entre las operadoras locales y las primermundistas, las empresas de telecomunicaciones de Costa Rica deben conocer sobre la tecnología que conforma las telecomunicaciones en los países líderes de la materia, y principalmente los futuros ingenieros, quienes estarán a cargo de la creación, mantenimiento y actualización de las redes. SDN y NFV representan la nueva generación de tecnologías en el área de las telecomunicaciones, por lo que se hace indispensable el conocimiento y manejo concienzudo de ambos elementos.

De no implementarse este tipo de tecnologías en el país se podría llegar a tener un atraso en las comunicaciones y quedar rezagados con respecto a los demás países.

En el mundo existe hoy un “problema”, la tecnología avanza muy rápido. Se debe estar preparado y conocer a fondo los cambios a nivel de telecomunicaciones. Otro de los temas importantes es la evolución de las Redes móviles, ya que la nueva tecnología “5G” requiere de una red totalmente virtualizada; si esto no materializa, no se podría avanzar asertivamente en esta evolución.

## **1.6. Sistematización del problema**

Se van a plantear una serie de encuestas entre los 3 grandes proveedores de servicio móvil en Costa Rica, los cuales son el ICE, con su marca Kolbi, Telefónica, con su marca Movistar, y Claro.

La idea de la encuesta es determinar si los grandes operadores conocen de las nuevas tecnologías, y si están dispuestas a adoptarlas.

## **1.7. Objetivo general**

- Verificar la necesidad de la implementación de SDN y NFV en las empresas de telecomunicaciones para poder brindar los servicios de alta demanda que el mercado requiere.

## **1.8. Objetivos específicos**

- Investigar acerca de las tecnologías de última generación a nivel de telecomunicaciones, como lo son SDN y NFV.
- Verificar los parámetros básicos de capacidad y latencia de las redes actuales de cada operador.
- Verificar qué tan preparados están los ingenieros de los proveedores de servicio con respecto a estas tecnologías.
- Generar una encuesta con respecto a la factibilidad de implementar estas tecnologías en Costa Rica en las empresas de telecomunicaciones.
- Revisar en conjunto con los Ingenieros de planificación, los planes a futuro que existen en los operadores.
- Verificar si las redes de las empresas están preparadas para la implementación de 5G.

## 1.9. Estado actual de la investigación

Esta investigación se enfoca en la investigación de las tendencias globales de las telecomunicaciones, para lo cual se poseen parámetros y conocimientos prácticamente nulos con los cuales anexarse.

Se desea realizar un análisis de las tecnologías SDN (Redes definidas por Software) y NFV (Virtualización de Funciones de Red), respondiendo preguntas importantes como el origen, el funcionamiento, la arquitectura, los beneficios y los perjuicios que presentan estas tecnologías.

En este momento SDN y NFV no son tecnologías nuevas, tienen años de estudio y varios fabricantes de equipos de telecomunicaciones ya cuentan con casos de éxito en sus operaciones, por lo cual es imperante exponer algunos de estos en el presente estudio.

En Costa Rica operan tres empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones (Kolbi, Movistar-Tigo y Claro), las cuales prestan servicios móviles y servicios fijos. Por lo que se desea saber el conocimiento que tienen sobre estas tecnologías (SDN y NFV), y si hay algún interés en adoptarlas en un corto o mediano plazo.

Las telecomunicaciones en Costa Rica siempre han presentado una implementación tardía con respecto a las operaciones llevadas a cabo al respecto en otras latitudes. Por ejemplo, en el mundo, la tecnología de primera generación, conocida como TDMA, se implementó en 1979, mientras que en Costa Rica el primer despliegue se dio en 1994, con 440 mil líneas; esto le representa a la nación centroamericana un retraso, con respecto al lanzamiento global, de 15 años. Posteriormente, con la llegada de la tecnología de segunda generación, conocida como GSM, el país tuvo un retraso de 9 años, implementándose en Costa Rica hasta el año 2000, cuando de manera global apareció desde 1991. La tercera generación de

las redes móviles tuvo un retraso de 11 años, ya que en Costa Rica se implementó hasta el año 2009, y de manera global desde 1998. Para esta época es donde las telecomunicaciones en Costa Rica entran en competencia y los años de retraso se acortan. La tecnología de cuarta generación llega a Costa Rica en el 2012 con 4 años de retraso. Con el fin de retrasar los letargos a nivel de telecomunicaciones es necesario tener un conocimiento de las nuevas tecnologías con la mayor brevedad posible, que los operadores y planificadores de las redes conozcan cuanto antes las nuevas tecnologías, y de esa forma puedan actuar direccionando sus esfuerzos y recursos hacia las exigencias del mundo actual.

Un claro ejemplo de lo cerca que se está dando el lanzamiento de estos servicios, es que Telefónica ya tiene un caso comercial en Latinoamérica, donde implementó una red SDN en Colombia con cuatro proveedores de equipo diferente y con aproximadamente 90 casos de uso.

El futuro de las comunicaciones móviles viene con 5G, tecnología que para poder implementarse asertivamente requiere necesariamente la presencia de las tecnologías SDN y NFV, pues sin ellas resulta imposible aspirar a la inserción de la red 5G como una posibilidad para los usuarios. Si se llega a presentar un retraso en la implementación de SDN y NFV repercutirá inequívocamente en la implementación óptima y oportuna de 5G.

## 1.10. Metodología

Antes de iniciar cualquier esfuerzo investigativo es primordial establecer el método mediante el cual se llevará a cabo el trabajo. Mendoza (2006) establece que “El objetivo de cualquier ciencia es adquirir conocimientos y la elección del método adecuado que nos permita conocer la realidad es por lo tanto, fundamental. El problema surge al aceptar como ciertos los conocimientos erróneos o viceversa” (p. 4).

La metodología que se utiliza en la presente exploración se basa en una investigación cuantitativa, en la cual se realiza un análisis de resultados numéricos basados en una encuesta, los cuales son totalmente repetibles. Es importante cuestionar todos los datos antes de darlos por un hecho.

Se van a analizar datos reales de latencia, capacidades, topologías e infraestructura en las redes de los operadores estudiados, con el fin de determinar qué tan preparada está la red de cada uno para pensar en la potencial implementación de las tecnologías SDN y NFV.

Los datos obtenidos en el análisis de los parámetros de la red son interpretados de una manera objetiva, sin tomar en cuenta opiniones personales respecto a la información en cuestión.

Con el pasar de los años, y como fruto de la evolución de la tecnología, la forma de realizar encuestas ha cambiado considerablemente. Ya no es necesario imprimir una serie de preguntas en papeles, llevarlos a quien se desea que llenen la encuesta y luego realizar el análisis de los mismos. Ahora existen muchas herramientas online, donde se crean las preguntas y cada una de las respuestas se guarda en la nube. Esto es muy conveniente, ya que se puede hacer una exportación de la documentación en archivos Excel listos para el análisis de las mismas.



La herramienta en línea a utilizar se llama “Google forms”, la cual se indica en su página web <https://www.google.com/forms/about/> que es una herramienta personal que permite “Recopilar y organizar información grande y pequeña con Google Forms”, además, siendo lo más importante para el propósito de esta investigación el hecho de que “Las respuestas a sus encuestas se recopilan de forma clara y automática en formularios, con información de respuesta en tiempo real y gráficos. O lleve sus datos más allá viéndolos en Hojas”.

# CAPÍTULO 2

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco situacional**

Este trabajo se basa en dos tecnologías diferentes que van de la mano en las tendencias globales, como lo son SDN, por sus siglas “Software Defined Network” (Redes Definidas por Software, en su traducción al español) y NFV, por sus siglas “Network Functions Virtualization” (Virtualización de Funciones de Red, al traducirse).

Es importante destacar a qué se debe el cambio, el por qué se hace necesario adoptar estas medidas en las Redes. Desde hace varios años se vienen dando conceptos y avances muy fugaces y poderosos en el área de las telecomunicaciones, como por ejemplo IoT, por sus siglas “Internet of Things” o la Internet de las Cosas, donde todos “las cosas” u objetos que se utilizan diariamente, tanto en el hogar como en la interacción social y laboral conectar a internet, por ejemplo: televisores, electrodomésticos, parlantes de audio, luces de la casa, entre otros objetos de uso común. Otro de los nuevos conceptos es VR, por sus siglas “Virtual Reality”, que significa realidad virtual, donde los anchos de banda que se requieren para este tipo de servicios son extremadamente altos. Estos nuevos servicios que solicitan los clientes hacia los operadores requieren que las redes que estén a disposición del mercado tengan la capacidad de soportar todas estas nuevas tendencias, e incluso las venideras. Además, considerando que cada día pueden solicitarse nuevos servicios de conexión, la red debe de estar preparada para el futuro, evitando a las operadores el tener que reemplazar equipos en poco tiempo, ya que no sería rentable para la entidad, ni generaría una buena imagen en el cliente.

Por lo tanto, con la aparición de SDN y NFV se supone y pretende que las entidades proveedoras de servicios de telecomunicaciones deben poseer redes cada vez más inteligentes y flexibles, de la mano con las nuevas exigencias del mercado, y con la proliferación al respecto de la demanda de nuevos servicios.

Si en Costa Rica se llegan a implementar estas tecnologías se tendrían beneficios a corto, mediano y largo plazo. A corto plazo se puede bajar el OPEX, ya que las arquitecturas de la red son más simples, más fáciles de manejar y mantener, se reduciría la cantidad de equipos y la dependencia de proveedores, por lo que bajarían los contratos de soporte. A mediano plazo, cuando se implementen servicios nuevos, el TTM (Time to Market o tiempo de implementación desde que se adquieren los equipos hasta que se implementan) bajaría notoriamente, puesto que este servicio provee un ROI (Return of investment o retorno de inversión) de manera mucho más rápida; un claro ejemplo de esto puede observarse en el caso de una implementación nueva o una expansión de un servicio empresarial; en esa circunstancia, si se tiene un controlador SDN los tiempos de implementación bajan y se empieza a monetizar el servicio de una manera mucho más acelerada. Y finalmente, los beneficios a largo plazo, se tiene una red preparada para la implementación de 5G, la presencia de SDN y NFV son requisitos obligatorios.

La implementación de estas tecnologías es inevitable en un país como Costa Rica donde las cuotas de mercado se encuentran muy equilibradas entre los proveedores de servicios. Cualquier beneficio adicional que den las empresas para retener a sus clientes es un plus que ayuda a disminuir la tasa de cambio. Por ejemplo, si un servicio empresarial de 1Gbps tiene el mismo precio en los diferentes operadores, pero uno de ellos ofrece la gestión y mantenimiento en la nube, este será un factor determinante para que ese cliente escoja a ese proveedor de servicios.

## 2.2. Marco Conceptual o Marco Teórico del Objeto de Estudio

Antes de iniciar con un estudio sobre lo último en las tecnologías de telecomunicaciones como lo son SDN (Software Define Network) y NFV Redes definidas por Software tenemos que entender muchos conceptos y origen. Vamos a iniciar con SDN.

### 2.2.1.SDN

#### 2.2.1.1. ¿Qué es SDN?

Existen muchos conceptos sobre SDN, y con el pasar de los años ha evolucionado, por lo que a continuación se retratan algunas de las acepciones más reconocidas que se han conformado al respecto.

Según **Open Networking Foundation (ONF)**: “SDN es un nuevo enfoque para la creación de redes y sus atributos clave incluyen: separación de datos y planos de control; una interfaz uniforme independiente del vendedor entre el control y los planos de datos; un plano de control lógicamente centralizado; y segmentación y virtualización de la red subyacente”. <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>

Según **Gartner**: “las redes definidas por software (SDN) son un nuevo enfoque para diseñar, construir y operar redes que se enfoca en brindar agilidad comercial mientras se reducen los costos operativos y de capital. Es mucho más que un nuevo conjunto de API diseñado para reemplazar las interfaces de línea de comandos para administrar dispositivos individuales.” <https://www.gartner.com/it-glossary/software-defined-networks>

Según **VMware**: “Software Defined Networking (SDN), es la evolución de las redes que ayuda a resolver el desafío de redes del centro de datos, que virtualiza la

red y crea redes lógicas que cumplen con los requisitos de agilidad, rendimiento y escala de las aplicaciones y datos virtualizados”.

<https://www.vmware.com/topics/glossary/content/sdn>

Según **CISCO**: “La red definida por software (SDN) está diseñada para hacer que una red sea flexible y ágil. SDN le permite diseñar, construir y administrar redes, separando los planos de control y reenvío. Como resultado, el plano de control es directamente programable y abstrae la infraestructura subyacente para aplicaciones y servicios de red”. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html#~services>

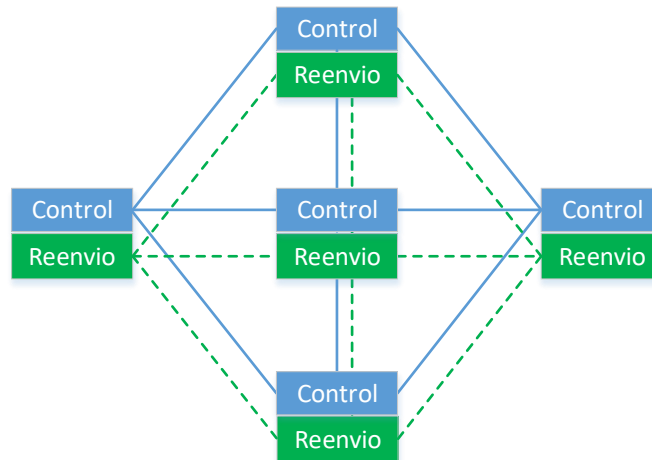
Según **Google**: “a medida que los sistemas de red escalan, ya sea el crecimiento en el ancho de banda o la cantidad de usuarios que se atienden, uno tiene que preocuparse por la capacidad de administración, la rentabilidad, la solidez y la disponibilidad del tejido de red. SDN le permite abordar muchos de estos problemas”.

Luego de revisar cada uno de estos conceptos, según la visión de las grandes compañías de telecomunicaciones, SDN cambia la perspectiva de las redes actuales, puesto que las entidades operadoras de servicios coinciden en que el principal cambio es la separación del plano de control del plano de datos. Este cambio conlleva grandes ventajas en las redes de telecomunicaciones; por ejemplo, las redes pueden ser más flexibles, más ágiles, más escalables, por citar algunas variantes. Cada uno de estos puntos será abordado más adelante.

Otra de las grandes preguntas, y la más importante que debe hacerse al pensar en la evolución de las redes, ¿Por qué SDN? Para responder a la incógnita se puede hacer, en primera instancia, una valoración de los retos que tienen las redes actuales para satisfacer las demandas de un nuevo mercado cada vez más interconectado, y cómo SDN puede solucionar los distintos problemas y retos de este nuevo mundo de las telecomunicaciones. Algunos de estos desafíos se destacan a continuación.

### 2.2.1.2. Cálculo de rutas distribuidas

En la figura 1 se muestra cómo los protocolos IP negocian con los Elementos de Red pares que conoce, por lo cual no tiene una visión global.

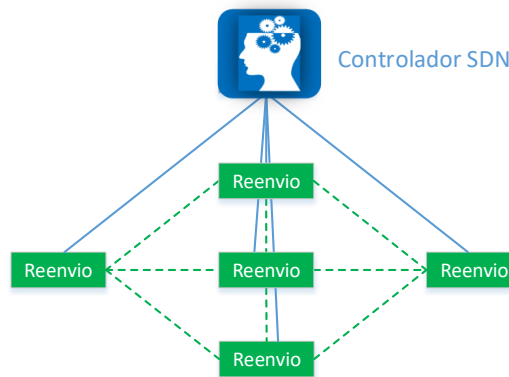


**Figura 1. Plano de control y reenvío en redes actuales**

Fuente: Elaboración propia

Esto provoca una falta de manejo en los recursos globales de la Red, haciendo más complejo o manual la configuración de los mismos; además, la utilización de los enlaces no se aprovecha ni se gestiona de una manera efectiva.

En la figura 2 se evidencia cómo la idea de SDN es separar el plano de control de cada uno de los sitios, otorgando un control centralizado, lo que permite además una visualización de recursos global de la red.



**Figura 2. Separación del Plano de control en SDN**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, en la figura 11, cada vez que un paquete llega al equipo este debe de “abrirlo”, y dependiendo del protocolo a nivel IP que se utilice, cada equipo debe decidir qué hacer con ese paquete, mientras que en la figura 22 esta inteligencia de cada equipo elimina esta parte y la inteligencia a nivel de capa 3 se da desde el controlador.

Con la separación del plano de control se logrará obtener una serie de ventajas; por ejemplo, a la hora de realizar una configuración de QoS (Quality of Service o Calidad de Servicio), donde el control central de todos los nodos de red facilita al administrador de red saber cuándo se utiliza una sola conexión, de modo que pueda responder de inmediato, regulando así el tráfico para entregar en todo momento y a todos los participantes el ancho de banda prometido.

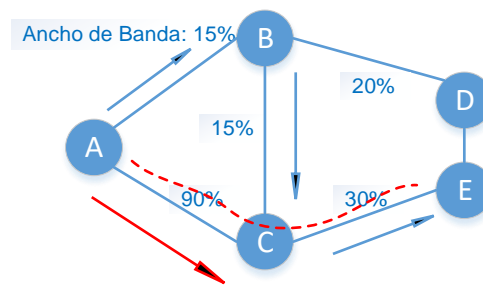
Otra de las ventajas que se perciben con la incorporación de SDN es el enrutamiento de paquetes controlado por aplicaciones de terceros, ya que desde el controlador SDN se puede proporcionar interfaces para que aplicaciones intervengan



en el enrutamiento de paquetes; esto quiere decir que puedan realizar ajustes, modificar o configurar los equipos de la red.

### Rutas más cortas de primero

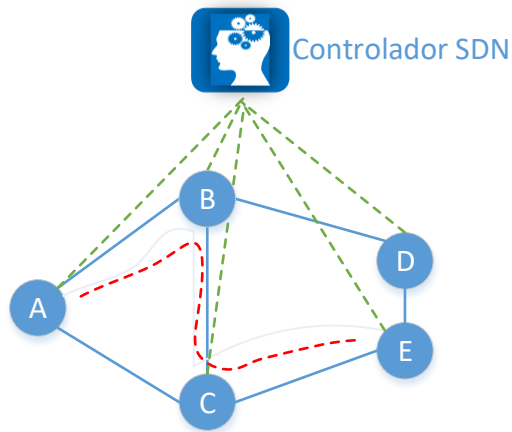
Existen diferentes métodos de balanceo de tráfico, de los cuales el más popular es el utilizar ingeniería de tráfico. Sin embargo, al igual que en el punto anterior, estos protocolos atacan la congestión local o por enlace, y no se hace de manera global. En la figura 3 se observa un ejemplo básico de balanceo de carga, donde se podría configurar con diferentes protocolos para lograr balancear el tráfico; sin embargo, desde una perspectiva global, el balanceo de tráfico requiere de una visión más amplia de la red, la cual se hace de manera manual.



**Figura 3. Ejemplo de balanceo de Tráfico en redes actuales**

Fuente: Elaboración propia

Si se saca el plano de control de cada uno de los sitios, y este tiene una visión global de todos los enlaces -como se observa en la figura 4, un servicio que va del sitio A al sitio E, con un controlador centralizado- se podría escoger una ruta alternativa sin pasar de A a C. Se podrían realizar análisis de todas las rutas y escoger la mejor opción.



**Figura 4. Ejemplo de balanceo de Tráfico utilizando SDN**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, con un control global de la red se pueden aprovechar de una mejor manera los recursos de la red, disminuyendo a la vez las latencias; con respecto a cuánto se puede disminuir la latencia de una red, esto va a depender de la topología y de la cantidad de saltos que se deben dar, con esto se puede calcular fácilmente cuánto se puede ahorrar, ya que un router puede introducir entre 30 y 100 micro segundos de latencia, dependiendo de la calidad del mismo, además del protocolo IP utilizado. Por ello, si con el controlador SDN se puede realizar una configuración donde se reduce un salto, se obtendrá una reducción en la latencia.

### **2.2.1.3. Sistemas cerrados**

Las redes de actualmente son redes cerradas, donde hay muy poca compatibilidad con los diferentes proveedores de soluciones o equipos. Aunque se tienen protocolos para la interconexión de las redes, el manejo, la gestión y el control se hacen de manera separada, lo cual provoca que la red se torne más compleja, con una lenta innovación del servicio, y con una operación y un mantenimiento manual que aumentan el OPEX de las compañías.



**Figura 5. Ejemplo de redes con sistemas cerrados**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se observa cómo se ven las redes definidas por software, donde se pueden realizar las acciones que se hacían separadas con un solo controlador, entre ellas el planeamiento, monitoreo en tiempo real, recolección de información para su procesamiento. Todo esto se puede realizar de manera automática con interfaces NBI (por sus siglas, Northbound Interfaces, que significan interfaces de interconexión hacia el norte).



**Figura 6. Ejemplo de redes con sistemas controlados por SDN**

Fuente: Elaboración propia

Con la presencia de un controlador SDN y con un sistema abierto se pueden realizar acciones que hoy resultan imposibles, como por ejemplo el manejo y gestión de diferentes marcas de equipo desde una misma plataforma. Esto es una gran ventaja para evitar la dependencia de una sola marca de equipos, además de que permite reducir la cantidad de sistemas en la red. Si una red está compuesta por 3 marcas, lo cual es muy normal, actualmente se tienen 3 gestores de red diferentes, uno para cada marca. Cuando se realiza una configuración que involucre más de una marca se deben realizar en los diferentes gestores; en cambio, si se tiene un controlador SDN, este

puede, por medio de los estándares y protocolos abiertos, manejar las diferentes marcas.

El gran beneficio de una red abierta se da en la operación y el mantenimiento, para la detección de fallas y problemas de la red; por ejemplo, si un servicio falla, desde el controlador se puede hacer una revisión de todos los elementos de la red y disminuir los tiempos de respuesta. Al final, esto se reduce en una mejor experiencia de usuario, ya que se detecta de una manera mucho más eficiente cualquier problema en la red, lo cual acelera el tiempo de respuesta y solución, maximizando así las operaciones en general.

Según Ciena, las arquitecturas de SDN abiertas dan comienzo a una nueva era de apertura que permite la inter-operatividad de proveedores múltiples, así como la promoción de un ecosistema no vinculado a proveedores. La apertura proviene del enfoque de SDN en sí. Las API abiertas soportan una amplia gama de aplicaciones, incluidas la orquestación de la nube, OSS/BSS, SaaS y aplicaciones en red críticas para el negocio. Además, el software inteligente puede controlar el hardware de múltiples proveedores con interfaces de programación abiertas, como OpenFlow. Por último, desde el interior de SDN, los servicios de red y las aplicaciones inteligentes pueden ejecutarse dentro de un entorno de software común.

#### **2.2.1.4. Estándares de SDN**

##### **Open Networking Foundation (ONF)**

ONF es una fundación iniciada por compañías de Internet y operadores de nivel 1, la cual ellos mismos denominan como “un consorcio dirigido por operadores sin fines de lucro que impulsa la transformación de la infraestructura de red y los modelos comerciales de operadores.” <https://www.opennetworking.org/>. Tienen representantes de empresas de Internet como Google y Facebook, y de operadores de servicios de telecomunicaciones como DT, Verizon y NTT.

ONF basa su trabajo en la arquitectura de SDN y en la definición de OpenFlow, sin embargo, no hace mucho énfasis ni consideración en la infraestructura existente.

##### **IETF**

IETF es una comunidad donde el líder principal es la compañía CISCO, y representa al vendedor tradicional de equipos. Según se página de internet, “El IETF es una gran comunidad internacional abierta de diseñadores de redes, operadores, vendedores e investigadores preocupados por la evolución de la arquitectura de Internet y el buen funcionamiento de Internet”.

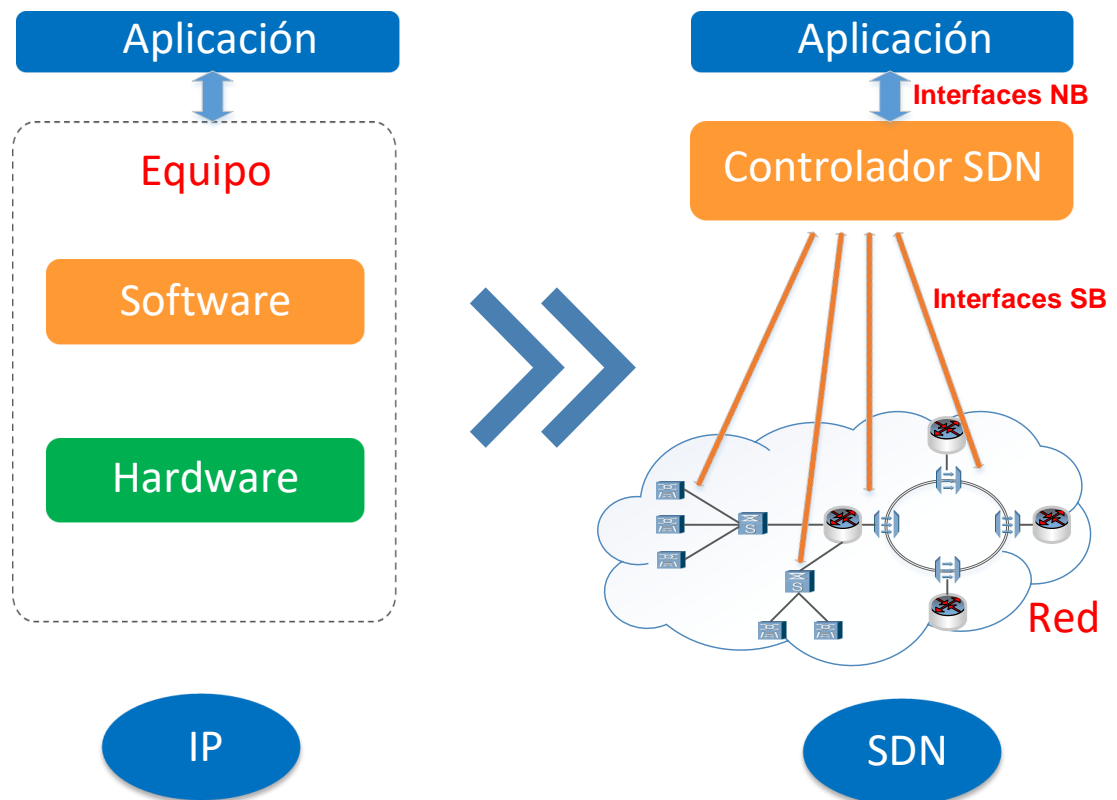
<https://www.ietf.org/about/>. Su principal contenido de trabajo se basa en la evolución de equipos existentes hacia SDN, con lo cual enfatizan en la necesidad de una evolución paulatina de los equipos.

##### **ETSI**

La fundación ETSI (European Telecommunications Standards Institute), fue iniciada por operadores de nivel 1, como BT, Telefónica, AT&T, Verizon y DT. También por proveedores de equipos, como Intel y HP, los cuales son muy activos.

### 2.2.1.5. Arquitectura de SDN

Para entender la arquitectura de SDN se debe tener una visión de cómo son las redes actuales; en la figura 7 se muestra cómo funcionan los equipos de una red actual, y cómo funcionan en una red SDN.



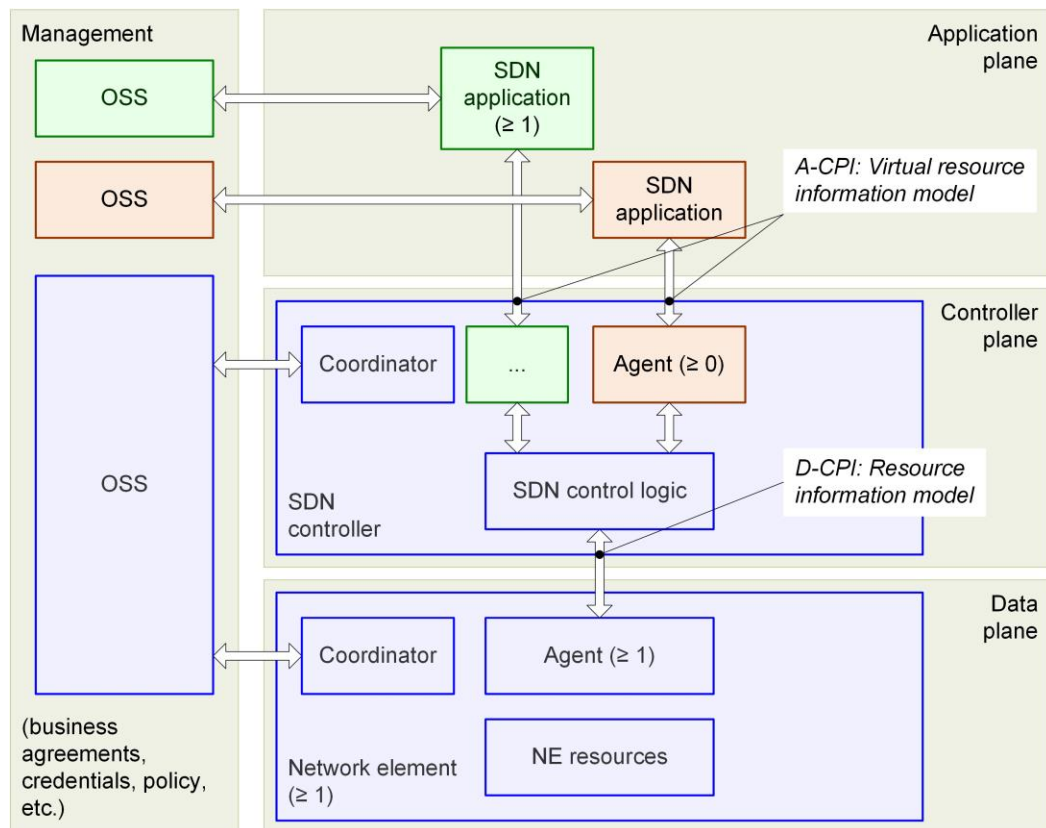
**Figura 7. Comparación redes actuales y SDN**

Fuente: Elaboración propia

En el lado izquierdo de la imagen 7, la cual hace referencia a un equipo IP, se observa claramente que estos equipos poseen tanto el hardware como el software adentro del mismo. Este tipo de topología tiene como su principal desventaja el hecho de que no cuenta con una visión clara a nivel de control de red, solamente controla su equipo.

Por otra parte, una topología SDN engloba diferentes variantes según ONF, ETSI o IETF, sin embargo, todas coinciden en una topología en la cual se debe tener un controlador, un control y un plano de aplicación. En la figura 7 (al lado derecho) se observa una topología básica de SDN, misma que se fragmenta en 3 grandes apartados, los cuales son el plano de datos, el plano de control y el plano de aplicación.

La ONF (Open Network foundation), en su documento “SDN Architecture Overview” (p.6) demuestra con suma claridad cómo se concibe la arquitectura de una re.



**Figura 8. Arquitectura SDN**

Fuente: ONF - SDN Architecture Overview

## **Plano de datos**

El plano de datos es el elemento en el cual se encuentra la estructura de Red, además donde se da el procesamiento de datos y el reenvío de los mismos; en comparación con las topologías actuales se elimina la parte de control de los dispositivos.

La capa de infraestructura se compone de recursos de computación, de almacenamiento y de red. Son redes superpuestas con redes físicas y virtuales planificadas y diseñadas de manera unificada.

En el plano de datos se realiza la automatización y manejo de cada uno de los elementos de la red; una de las partes más importantes del plano de datos es el manejo de diferentes equipos y marcas, ya que aquí es donde se encuentran los recursos de los elementos de red. La idea del plano de datos es poder comunicarse, controlar y manejar todos estos elementos, sin importar la marca del equipo; de aquí la importancia que todos los proveedores fabriquen con los estándares de SDN. Con un solo controlador o gestor de la red se simplifica enormemente la manejabilidad y operación de la red.

## **Plano de control**

En el plano de control se encuentra el controlador SDN, y tiene como función la de ser “traductor” de los requerimientos de la aplicación hacia la capa de datos; esto quiere decir que, según se requiera, tiene un control absoluto de la red; por lo tanto, en esta capa donde se realiza el control del plano de datos el control es central para toda la red.

En la arquitectura SDN, el controlador es equivalente al sistema operativo Windows en la industria de la PC; es el punto central del control. Aquí es donde se



encuentra la inteligencia del sistema, donde se toman las decisiones de manera global en beneficio del manejo de la Red.

Asimismo, es también en el plano de control donde se recolecta información de la red, la cual servirá para el análisis de comportamiento, histórico, entre otros rubros. En esa misma línea se encuentra la inteligencia artificial, la cual utiliza la información para realizar predicciones del comportamiento de la red; por lo tanto, la red deja de ser reactiva y pasa a ser una red totalmente predictiva.

### **Plano de aplicación**

En este apartado se encuentran los programas que solicitan al controlador SDN de forma directa el comportamiento deseado de la red; en otras palabras, es donde se toman las decisiones.

En diferentes topologías, la capa de aplicación se une con la capa de control, ya que pueden dotar de una vista general de la red, esto para tener un análisis en la toma de decisiones dentro de sus procesos internos.

De esta forma quedan definidos los tres planos que actúan como eje en la arquitectura de una red. Es primordial que existan protocolos o métodos de intercomunicación asertivos entre ellos, por lo cual la aparición de las Interfaces Norte y SUR (NBI y SBI) es elemental en el constructo global de los planos mencionados atrás.

### **NBI Nortbound Interface**

Como se aprecia en la figura 8, estas interfaces son las encargadas de comunicar la capa de aplicación con la capa de control; en una misma red pueden existir muchas NBI, según los requerimientos de la aplicación sobre la Red.

## **SBI Southbound Interface**

Como se observa en la figura 8, las SBI son las interfaces definidas entre el controlador SDN y la capa de datos. Esta interface es la encargada del control de todos los elementos de la red, tales como reenvío, recolección de estadísticas, notificaciones de eventos, entre otros. Estas interfaces son abiertas y multi-vendor, lo que quiere decir que son compatibles con todos los dispositivos.

La arquitectura de SDN no depende solamente de un controlador o software, existe todo un ecosistema de funcionalidad e integración en el cual se debe seguir ciertos estándares; por ejemplo, los orquestadores o creadores del software de control tendrán que ser compatibles con las plataformas cloud, también existirán diferentes aplicaciones de terceros que tendrán que no solo deberán ser instaladas en la misma plataforma cloud, sino además ser compatibles con la orquestación de la red.

### **2.2.1.6. Ventajas de SDN**

Una vez observadas y valoradas las topologías de SDN, y teniendo claro cómo funciona este en todas sus generalidades, es posible determinar cuáles son las principales ventajas que ofrece este nuevo sistema; a continuación se insertan algunas de ellas.

#### **Implementación más rápida**

El control centralizado es la pieza central de todo el enfoque. El hecho de poder operar desde una sola plataforma hacia toda la red proporciona un control más eficiente sobre el tráfico de red y la asignación de tareas. Desde esta plataforma se puede aumentar la productividad general de la red.

Asimismo, la administración de solicitudes se lleva a cabo en tiempos record, donde a menudo se requiere que se ejecuten múltiples aplicaciones y máquinas

virtuales para acomodar servicios de Big Data. Las redes definidas por software son compatibles con las funciones de dispositivos físicos y virtuales al mismo tiempo.

A ese respecto, la automatización del servicio de red y la autonomía de la red, así como las instancias del servicio de red se pueden implementar más rápido.

El sistema es amigable en cuanto a la agregación más ágil y veloz de nuevos servicios a la red. Se puede lograr una gran cantidad de nuevas funcionalidades o requerimientos actualizando el software del controlador.

Es posible incluso utilizar el SDN para logra una implementación mucho más acelerada de las capacidades de servicio de valor agregado en redes, y de esta forma proporcionar servicios diferenciados (funciones de la cadena de servicio) para los clientes.

### **Más sencillo**

Los protocolos de red se simplifican, y una gran cantidad de protocolos de servicio de red desaparecen. El procesamiento de políticas de usuario se implementa en el controlador.

Un elevado porcentaje de los protocolos de enrutamiento de servicios definidos por el Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF) se reemplazan gradualmente por algoritmos de controlador, incluidos MP-BGP, PIM e IPv6.

Resulta mucho más simple controlar y monitorear las funciones de seguridad desde una consola centralizada, en lugar de hacerlo a través de múltiples aplicaciones distribuidas en sus sistemas. Por lo tanto, mediante un punto central se puede crear una política de seguridad o de enrutamiento y difundir la información entre los diferentes elementos de red.

Las redes definidas por software simplificarán la unión de sus recursos en la nube a pesar de estar en un centro de datos posiblemente distante. Una plataforma con componentes masivos y muchas partes de trabajo se puede administrar desde una consola centralizada.

### **Menor costo**

A través del control centralizado, los recursos de la red pueden programarse de manera central y extraerse en profundidad, mejorando la utilización de los recursos de la red y accediendo a más servicios.

Desde la integración vertical hasta la integración horizontal, los chips, dispositivos y controladores pueden ser completamente competitivos en diferentes capas.

SDN permitirá realizar múltiples tareas en las operaciones de la red. Eso requiere menos equipo y no necesita los costosos conmutadores de red que se usarían en el estilo tradicional. SDN también se adapta óptimamente con la virtualización, lo que reducirá su necesidad de más hardware.

### **Experiencia de usuario**

SDN hace posible garantizar elevar la calidad en la experiencia del usuario, ya que se tiene un mayor control sobre la capacidad de respuesta de la red, lo que permite que se pueda ofrecer una transmisión de video de alta calidad. Con una visión general de la red es posible crear políticas de tráfico para garantizar una buena experiencia de usuario.

La automatización de servicios en la red le ayudará con herramientas de gestión en la nube para la autogestión de recursos de computación o de red; esto resulta sumamente útil en entornos como las redes SD-WAN de toda la empresa. Las redes

definidas por software permiten un nivel de automatización que realmente beneficiará el proceso como un todo, pues, aumentará la velocidad de la red en general.

## **2.2.2. NFV (Network function Virtualization)**

### **2.2.2.1. Definición**

La virtualización de funciones de red (NFV) define estándares para recursos de computación, almacenamiento y redes que se pueden usar para construir funciones de red virtualizadas. La infraestructura de NFV (conocido como NFVI) es un componente clave de la arquitectura NFV, la cual describe los componentes de hardware y software en los que se construyen las redes virtuales.

NFVI aprovecha las economías de escala de la industria de TI, la cual se basa en componentes informáticos estandarizados de bajo costo y ampliamente disponibles. NFVI funciona con servidores y software, hipervisores, máquinas virtuales y administradores de infraestructura virtual para habilitar la capa física y virtual de la red.

Los estándares NFVI ayudan a aumentar la interoperabilidad de los componentes de las funciones de la red virtual y apuntan a habilitar entornos de múltiples proveedores.

La virtualización de funciones de red (NFV) ofrece una nueva forma de diseñar, implementar y administrar servicios de red. NFV desacopla las funciones de red, como la traducción de direcciones de red (NAT), firewall, detección de intrusos, servicio de nombres de dominio (DNS) y almacenamiento en caché, por nombrar algunos, de dispositivos de hardware patentados, para que puedan ejecutarse en software.

Está diseñado para consolidar y entregar los componentes de red necesarios para admitir una infraestructura totalmente virtualizada, incluidos servidores virtuales,

almacenamiento e incluso otras redes. Utiliza tecnologías estándar de virtualización de TI que se ejecutan en servicios de alto volumen, conmutadores y hardware de almacenamiento para virtualizar las funciones de red. Es aplicable a cualquier función de procesamiento de plano de datos o plano de control en infraestructuras de red cableadas e inalámbricas.

#### ***2.2.2.2. Historia de la virtualización de funciones de red***

El concepto se originó a partir de proveedores de servicios que buscaban acelerar la implementación de nuevos servicios de red para respaldar sus objetivos de ingresos y crecimiento. Las limitaciones de los dispositivos basados en hardware los llevaron a aplicar tecnologías de virtualización de TI estándar a sus redes. Para acelerar el progreso hacia este objetivo común, varios proveedores se unieron y crearon el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI).

ETSI Industry Specification Group para la virtualización de funciones de red (ETSI ISG NFV), es un grupo encargado de desarrollar requisitos y arquitectura para la virtualización de diversas funciones dentro de las redes de telecomunicaciones, como estándares como NFV MANO. ETSI también es instrumental en proyectos de colaboración como el recién anunciado OPNFV (Open Platform for NFV).

NFV tiene como propósito utilizar las técnicas ya implementadas en TI, con el fin de virtualizar equipos de red. Lo que hace es utilizar máquinas virtuales donde se ejecutan los programas y procesos. Estos programas están montados sobre equipamiento de computación (servidores, infraestructura en la nube, conmutadores, entre otros) de alta capacidad. Por lo tanto, ya no se ejecutarían sobre los equipos especializados para cada función. Un ejemplo de esto sería montar un enrutador sobre una plataforma en la nube sin necesidad de la instalación física del mismo.

Cuando se tiene una red de servidores donde se tienen las diferentes funciones de virtualización, es lo que ya se ha definido como Infraestructura de NFV. Y la implementación de la NFVI se puede realizar en cualquier lugar de la red.

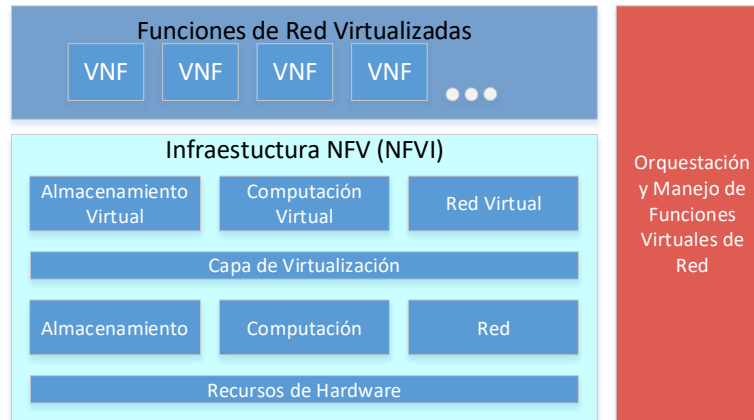
Por ello, se pueden realizar funciones de red mediante software en vez de la instalación de hardware especializado, esto indica que virtualiza las funciones de red sobre servidores.

NFV permite a los operadores reducir considerablemente la dependencia de equipamiento especializado, y crea redes más escalables, que requieran menor espacio y consumos energéticos, lo que lleva a reducir gastos de mantenimiento, reduce consumos eléctricos, entre otros muchos beneficios.

Para proveer servicios de red por medio de funciones virtuales se crea lo que se conoce como una cadena de servicios virtuales (SFC), y así se logra un servicio de extremo a extremo sobre una plataforma virtualizada. Normalmente, cada función de red se mapea sobre una máquina virtual.

### **2.2.2.3. Arquitectura de NFV**

Existen diferentes proveedores de infraestructura para la virtualización de funciones virtuales, entre los que se encuentran Huawei, VmWare, Cisco, HP, Dell, entre muchos otros. Sin embargo, las topologías de NFVI son muy similares. A partir de la revisión y análisis de las páginas de esos proveedores se ha creado una topología, la cual se muestra en la figura 9.



**Figura 9. Arquitectura de NFVI**

Fuente: Elaboración propia

En la figura se observan tres aristas fundamentales que alimentan el resto de componentes alusivos a la arquitectura de NFV. A continuación se detallan a cabalidad.

### Infraestructura NFV

La infraestructura NFV se entiende como la totalidad de los componentes de hardware y software que crean el entorno en el que se implementan, gestionan y ejecutan los VNF. La infraestructura física de NFV se puede instalar en varias ubicaciones; la red va a proporcionar la conectividad entre estas ubicaciones para así formar la infraestructura de NFV.

Desde el punto de vista de VNF, la capa de virtualización y los recursos de hardware serán una sola entidad que le proporcionará el recurso deseado.

El recurso de hardware incluye informática, almacenamiento y red que proporciona procesamiento, almacenamiento y conectividad a VNF a través de la capa de virtualización (hipervisor). Los recursos de computación y almacenamiento se usan



comúnmente en un grupo. El recurso de red se compone de funciones de conmutación, p. enrutador, red cableada o inalámbrica.

La capa de virtualización, conocida también como hipervisor, abstrae los recursos de hardware y desacopla el software del hardware para garantizar un ciclo de vida independiente del hardware para cada función virtual. Es el principal responsable de la partición lógica de recursos físicos, actuando comúnmente como capa de abstracción de hardware; también permitir que el software implemente en la función virtual para usar la infraestructura de virtualización. Proporciona los recursos virtualizados a las funciones virtuales, para que se puedan ejecutar, y asegura además que las funciones virtuales se puedan separar de los recursos de hardware, con el fin de que el software se pueda implementar en diferentes recursos físicos.

### **Funciones de Red Virtualizadas**

Una función de red virtual (VNF) es el bloque básico en la arquitectura NFV. Es donde se “virtualizó” la función de red. Por ejemplo, cuando un enrutador está virtualizado se le llama enrutador VNF; también, cuando un firewall o sistema de seguridad es virtual se le conoce como firewall VNF; de manera similar, pueden existir servidores DHCP VNF y conmutadores VNF. También es posible virtualizar funcionalidades de elementos de MME, Gateways y HSS, que pueden ser VNF al estar separadas, y juntas funcionar como EPC virtual.

Una función virtual (VNF) se implementa en máquinas virtuales (VM), y a la vez, una sola VNF se puede implementar en varias máquinas virtuales, donde cada una de las máquinas virtuales tiene albergadas de forma separada las funcionalidades de la VNF. También, se puede desarrollar toda una VNF en una sola VM.

Los EMS (Element Management System o sistema de gestión de elementos) son responsables de la gestión de las VNF. Dentro de las funciones de gestión se encuentran los fallos, la configuración, contabilidad, rendimiento y seguridad. Un EMS

puede administrar los VNF a través de interfaces propietarias. Puede haber un EMS por VNF o un EMS que pueda administrar múltiples VNF. EMS en sí mismo puede implementarse como Función de red virtual (VNF).

### **Orquestación y Manejo de funciones**

En esta capa de la arquitectura es donde se manejan tanto los recursos de hardware como los de software. Es, en pocas palabras, el espacio encargado de gestionar, mantener, aprovisionar y comunicar las diferentes funciones de red.

Aquí se interactúa con las capas NFVI y VNF. Se gestionan todos los recursos en la capa de infraestructura, también crea y elimina recursos además de gestionar la asignación de las funciones virtuales.

Aquí se encuentran las funcionalidades que se utilizan para controlar y administrar la interacción de un VNF con los recursos de computación, de almacenamiento y de red, así como su virtualización. También se realizan funcionalidades específicas, como inventarios de software, informática, almacenamiento y recursos de red dedicados a la infraestructura NFV. Asimismo, la gestión de recursos de infraestructura, que permite el aumento de las máquinas virtuales, la eficiencia energética, entre otros. Provee la asignación de máquinas virtuales en hipervisores, recursos informáticos, almacenamiento y conectividad de red relevante. Realiza análisis de la causa raíz de los problemas de rendimiento desde la perspectiva de la infraestructura NFV. Y finalmente, posibilita la recolección de información de fallas de infraestructura y de información para la planificación, supervisión y optimización de la capacidad.

Otras de las funcionalidades incluyen instalación, actualizaciones, consultas, escalamiento. Se pueden implementar diferentes administradores de VNF para cada VNF o se puede implementar un solo administrador de VNF para servir a múltiples VNF.

#### **2.2.2.4. La importancia de NFVI**

NFVI es tan crítico para obtener los beneficios comerciales descritos por la arquitectura NFV como cualquier otro bloque funcional. Ofrece los recursos físicos reales y el software correspondiente en el que se pueden implementar VNF.

NFVI crea una capa de virtualización que se encuentra justo encima del hardware, y abstrae los recursos HW para que puedan ser particionados lógicamente y proporcionados al VNF para realizar sus funciones.

NFVI también es fundamental para construir redes más complejas, sin limitaciones geográficas de las arquitecturas de red tradicionales.

La importancia de las NFV se viene presentado desde hace varios años; Telecoms.com, la cual es una empresa de noticias de actualidad tecnológica publicó en su informe denominado "Annual Industry Survey 2018", que la principal conclusión acerca de NFV es que el 79% de los profesionales del sector de telecomunicaciones considera que la virtualización de las funciones de red (NFV) resultará fundamental en la evolución del sector durante los próximos cinco años. Y cita en su informe que "Una economía digital cada vez más competitiva requiere que las aplicaciones y los servicios de red se entreguen con una velocidad, escalabilidad y agilidad sin precedentes", esto en palabras de Bart Salaets, EMEA Solution Architect Director en F5 Networks.

En el mismo informe se indica que "Los proveedores de servicios se encuentran en una realidad muy estresante, ya que tienen que ser capaces de optimizar el tráfico de datos y vídeo de sus redes, maximizar la eficiencia de la red, generar ingresos y mejorar la calidad de la experiencia del suscriptor. En un contexto de transformación digital y de IoT que cambia rápidamente, estos proveedores de servicios se vuelven, cada vez más, hacia NFV para crear nuevos servicios y modelos de negocio, para aumentar la agilidad del servicio, impulsar la innovación a través de la automatización, así como para lograr una mayor eficiencia de costes y flexibilidad operativa".

### **2.2.2.5. Los beneficios de la virtualización de funciones de red**

NFV virtualiza servicios de red a través de software para permitir a los operadores una serie de funciones inmensas. A continuación se retratan las principales.

#### **Reducir CapEx**

Reduce la necesidad de comprar hardware especialmente diseñado y admite modelos de pago a medida que crece para eliminar el exceso de aprovisionamiento innecesario.

#### **Reducir OpEX**

Reduce los requisitos de espacio, energía y refrigeración de los equipos y simplifica la implementación y la administración de los servicios de red.

#### **Acelera el tiempo de lanzamiento al mercado**

Reduce el tiempo para implementar nuevos servicios de red, además de los requisitos comerciales que suelen ser cambiantes; también permite aprovechar las nuevas oportunidades de mercado y mejorar el retorno de la inversión de nuevos servicios. Asimismo, reduce los riesgos asociados con la implementación de nuevos servicios, lo que garantiza a los proveedores probar y evolucionar fácilmente los servicios para determinar qué satisface mejor las necesidades de los clientes.

#### **Brinda agilidad y flexibilidad**

Aumenta o disminuye rápidamente los servicios para abordar las demandas cambiantes. Apoya la innovación permitiendo que los servicios se entreguen a través de software en cualquier hardware de servidor estándar de la industria.

Según una encuesta publicada por Telecoms.com, la cual estuvo dirigida a los principales operadores de telecomunicaciones a nivel mundial, los tres principales beneficios de NFV son: una mayor flexibilidad de la red y los servicios (48%), una mayor eficiencia de las operaciones (44%) a través de la automatización, y la reducción del OPEX (40%).

Un número considerable de participantes en la encuesta también elogian el potencial de esta tecnología a la hora de reducir el CAPEX (36%), así como su capacidad para mejorar el rendimiento y la fiabilidad de la red (35%).

La importancia de NFV se demuestra también al hablar de inversión. En esta línea, más del 95% de los encuestados creen que la inversión de sus empresas en esta tecnología aumentará o se mantendrá constante durante 2019.

En cuanto a los retos actuales con respecto a las aplicaciones y los servicios, un 48% de los profesionales del sector telco que participaron en este informe mencionó el time to market, un 46% la mejora de la experiencia del cliente y un 45% la eficiencia en las operaciones.

#### **2.2.2.6. El mercado de NFVI**

El mercado actual de NFVI varía enormemente, e incluso existe un debate entre los vendedores sobre qué constituye un componente de NFVI. Los proveedores tienen diferentes interpretaciones de cómo implementar las definiciones ETSI VNF. Algunos proveedores crean soluciones completas que incluyen sus soluciones de hardware y software existentes, mientras que otros ofrecen ofertas más específicas.

La comunidad de código abierto es muy influyente en el mercado de NFVI. Muchos proveedores se basan en Linux como base para las ofertas de NFVI, utilizando las distribuciones disponibles de Ubuntu o Red Hat.

El mercado requiere de procesos simples y automatizados. Es por esta razón que los proveedores de servicios deben ser capaces de desafiar estos retos y maximizar las oportunidades; un ejemplo de esto es proporcionar servicios de Virtual Network Functions (VNF) empaquetados con soluciones listas para instalar, con el fin de facilitar dimensionamiento en la planificación y las compras. De igual forma, los proveedores de servicios también deben buscar modelos de consumo basados en el rendimiento que se alineen completamente con sus servicios.

El mercado de network functions virtualization (NFV), que incluye hardware, software y servicios, alcanzará un valor de 15.500 millones de dólares en 2020, según datos de IHS Markit.

### **2.2.3. Importancia de adoptar SDN y NFV**

¿Cuál es la verdadera importancia de adoptar estas tecnologías en la red de los operadores móviles? Según la ITU-T Y3150, para la implementación de redes de Quinta Generación o 5G es necesario la virtualización y el establecimiento de redes definidas por software, o lo que ellos denominan “softwarization”, el cual es un enfoque general para diseñar, implementar, administrar y llevar a cabo el mantenimiento de equipos de red y componentes de red mediante programación de software.

Según la ITU, los principales impulsores de la softwarization de la red son los siguientes:

- Difusión generalizada de banda ultra ancha (fija y móvil).
- Aumento del rendimiento de hardware a costos más bajos.
- Creciente disponibilidad de código abierto de software.
- Terminales cada vez más potentes y cosas inteligentes.
- Avances procesables de Big Data, Inteligencia Artificial y Aprendizaje de Máquina.

La “softwarización” de red está allanando el camino hacia Controladores SDN, funciones de red virtual y aplicaciones de usuarios finales, todos considerados como "servicios", y las funciones de red se vuelven flexibles.

- Los componentes pueden cambiar la ubicación o el tamaño (por ejemplo, implementación en nodos de borde, reasignación de recursos).
- Las rutas de comunicación pueden cambiar en tiempo real de acuerdo al monitoreo de la misma.

¿Por qué son tan necesarias estas tecnologías a la hora de implementar 5G? La respuesta a esa pregunta se puede alcanzar analizando los requerimientos de 5G.

La red móvil 5G tiene tres requerimientos específicos, los cuales se muestran en la figura 9. Estos se abordan a continuación.

**1. eMBB**, (enhanced Mobile Broadband), lo que significa ancho de banda mejorado, cada nodo 5G debe de poder transmitir 10Gbps. En la actualidad los nodos 4.5G llegan a 1G como máximo.

Los servicios que se brindan en este apartado son:

- a. Realidad virtual.
- b. Realidad aumentada.
- c. Trabajo y juegos en la nube.
- d. Video en 8k, 3D, pantallas UHD.

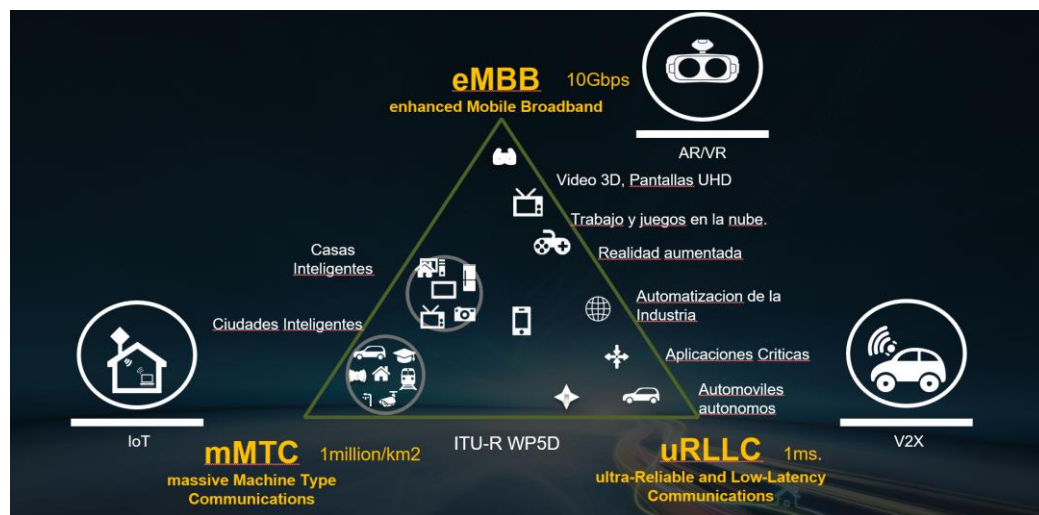
**2. mMTC** (massive Machine Type Communication) lo cual significa comunicaciones masivas tipo máquina, conocido también como IoT (internet of things) o internet de las cosas. Se prevé que existirán un millón de dispositivos conectados por cada kilómetro cuadrado.

Los servicios que se brindan en este apartado son:

- a. Casas Inteligentes.
- b. Ciudades Inteligentes.
- c. Voz sobre IP.

**3. uRLLC** (ultra-reliable and low latency Comunicacions), lo que significa Comunicaciones ultra confiables de baja latencia. En ellas los servicios de este apartado deben de tener latencias de red muy bajas, como por ejemplo:

- a. Automatizaciones de la industria.
- b. Aplicaciones críticas.
- c. Automóviles autónomos.



**Figura 10. Requerimientos de Redes 5G**

Fuente ITU-R Rec. M.2083

## Capacidades

Los requerimientos de una red móvil se basan en tres diferentes escenarios, los cuales se muestran en la tabla 1, donde se hace una predicción de tráfico basada en los operadores más grandes de Europa. En la tabla se pueden comparar los requerimientos a nivel de capacidad de red para un nodo 4G y para un nodo 5G, en sus etapas iniciales, medias y maduras, en las cuales la capacidad será de aproximadamente de entre 4 a 5 veces.



**Tabla 1. Capacidades dependiendo de la tecnología y el escenario**

Escenario	4G	LTE-A Pro	5G Fase Inicial	5G Fase Media	5G Fase Madura
Urbano	350Mbps	800Mbps	2Gbps	4Gbps	10Gbps
Suburbano	250Mbps	500Mbps	1Gbps	2Gbps	4Gbps
Rural	100Mbps	250Mbps	500Mbps	1Gbps	2Gbps

Fuente: The European 5G Annual Journal, 2018

Ahora bien, los consumos de la tabla 1 se entienden por cada sitio o nodo 5G. Las topologías de una red IP de acceso se muestran en la figura 11, donde el acceso está compuesto por anillos. La capacidad de dicho acceso es un factor importante a tomar en cuenta cuando se diseña una red.



**Figura 11. Capacidades dependiendo de la tecnología y el escenario**

Fuente: Elaboración propia

## **Requerimientos de latencia en la Red**

Según el sitio Wikipedia, la latencia de red es la suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red.

Según la publicación de ARSTechnica, en circunstancias ideales, las redes 5G deberían ofrecer a los usuarios una latencia máxima de solo 4 ms, la cual está muy por debajo de los aproximadamente 20 ms en LTE. La especificación 5G también requiere una latencia de solo 1 ms para comunicaciones ultra confiables de baja latencia (URLLC). Esto quiere decir que para la red de transporte la latencia es sumamente baja.

Según la alianza NGMN (Next Generation Mobile Network), y como se muestra en la tabla 2, la cual es un extracto de un documento denominado NGMN\_White\_Paper\_V1\_0.pdf, pagina 27, el cual se encuentra completo en los anexos, se encuentra una descripción completa de los requerimientos a nivel de velocidad, latencia de extremo a extremo y la movilidad.

**Tabla 2. Requerimientos de latencias dependiendo de experiencia de usuario**

Use case category	User Experienced Data Rate	E2E Latency	Mobility
Broadband access in dense areas	DL: 300 Mbps UL: 50 Mbps	10 ms	On demand, 0-100 km/h
Indoor ultra-high broadband access	DL: 1 Gbps, UL: 500 Mbps	10 ms	Pedestrian
Broadband access in a crowd	DL: 25 Mbps UL: 50 Mbps	10 ms	Pedestrian
50+ Mbps everywhere	DL: 50 Mbps UL: 25 Mbps	10 ms	0-120 km/h
Ultra-low cost broadband access for low ARPU areas	DL: 10 Mbps UL: 10 Mbps	50 ms	on demand: 0-50 km/h
Mobile broadband in vehicles (cars, trains)	DL: 50 Mbps UL: 25 Mbps	10 ms	On demand, up to 500 km/h
Airplanes connectivity	DL: 15 Mbps per user UL: 7.5 Mbps per user	10 ms	Up to 1000 km/h
Massive low-cost/long-range/low-power MTC	Low (typically 1-100 kbps)	Seconds to hours	on demand: 0-500 km/h
Broadband MTC	See the requirements for the Broadband access in dense areas and 50+Mbps everywhere categories		
Ultra-low latency	DL: 50 Mbps UL: 25 Mbps	<1 ms	Pedestrian
Resilience and traffic surge	DL: 0.1-1 Mbps UL: 0.1-1 Mbps	Regular communication: not critical	0-120 km/h
Ultra-high reliability & Ultra-low latency	DL: From 50 kbps to 10 Mbps; UL: From a few bps to 10 Mbps	1 ms	on demand: 0-500 km/h
Ultra-high availability & reliability	DL: 10 Mbps UL: 10 Mbps	10 ms	On demand, 0-500 km/h
Broadcast like services	DL: Up to 200 Mbps UL: Modest (e.g. 500 kbps)	<100 ms	on demand: 0-500 km/h

Fuente: NGMN white paper

### **2.3. Hipótesis**

Según los requerimientos establecidos anteriormente, las redes de los operadores de telecomunicaciones en Costa Rica no están preparadas para ofrecer los nuevos servicios globales, y es necesaria la implementación de tecnologías SDN y NFV para lograrlo.

Cuando se hace referencia a los nuevos servicios globales se está hablando de 5G, SDWAN, video en 8K en vivo, realidad virtual, realidad aumentada, IOT, ciudades inteligentes, entre otras.

Estos nuevos servicios requieren de redes con baja latencia, a nivel de transporte de datos menor a 5 milisegundos, además de capacidades de anchos de banda altos, hasta 1 Gbps por usuario final.

## **2.4. Limitaciones**

Este proyecto posee una serie de limitaciones metodológicas. Su investigación se basará en estudios teóricos de los diferentes fabricantes que hay en el mercado. También es sabido que todavía no hay estándares relacionados a SDN, por lo cual no se pueden asegurar ciertos criterios, solo se expondrán suposiciones y avances de la tecnología.

Otra de las limitaciones se encuentra a la hora de mostrar los datos de las redes de las empresas analizadas, ya que a solicitud de las mismas, y respetando la confiabilidad, no se pueden mostrar las topologías ni hacer alusión a factores de desempeño que perjudiquen o beneficien a los involucrados, recordando que en Costa Rica hay un ente encargado de realizar estos reportes.

## **2.5. Alcance**

El alcance de este proyecto será determinar, por medio de análisis de ciertos parámetros de red, si las empresas de telecomunicaciones analizadas requieren adoptar las tecnologías de Red NFV y SDN en sus operaciones, con el fin de poder brindar los nuevos servicios que se requieren actualmente en el plano de las telecomunicaciones, tanto de uso personal como industrial.

Asimismo, la última etapa del estudio se direcciona al desarrollo de una encuesta a los ingenieros de planificación de las principales empresas de telecomunicaciones del país, con el fin de conocer si tienen el conocimiento requerido para incluir las nuevas tecnologías analizadas en sus operaciones, y además si creen que sus redes se encuentran preparadas para afrontar los cambios a nivel de infraestructura, todo lo anterior en un afán de brindar los demandantes servicios de telecomunicaciones que el mundo actual exige.

# CAPÍTULO 3

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO

### 3.1. Mediciones de latencia

Para evaluar la latencia, en el presente estudio se utilizó un informe de SUTEL del año 2019 (los resultados se muestran en la tabla 3), la cual tiene a Telefónica con la menor latencia, y a Claro con la mayor.

**Tabla 3. Capacidad de cada operador según topologías**

<b>Empresa</b>	<b>Latencia Internet Móvil (ms)</b>
Telefónica	48.5
ICE	49.1
Claro	68,5

**Fuente: Sutel, Segundo Informe de desempeño de internet de red móvil, 2019**

Las latencias mostradas en la tabla 3 muestran que tres empresas tienen mucho que mejorar en este aspecto si desean brindar los servicios que ameriten bajas latencias, las cuales se mostraron en la tabla 2.

### 3.2. Análisis de capacidades

Para lograr mostrar un resultado medible de cada una de las empresas, en esta sección de medición de capacidad, y respetando la confidencialidad de datos, se cambiarán los nombres de las empresas analizadas con Empresa A, Empresa B y Empresa C. El objetivo es mostrar factores que determinen cuál es el estado actual de la arquitectura de las empresas, sin con ello poner en evidencia factores que puedan usarse para beneficios individuales o particulares o para llegar a perjudicar las operaciones o imagen de las mismas-



Para este análisis, se realizaron revisiones a nivel de topología, dividiendo la red a nivel de backbone o red transporte principal, a nivel de agregación y a nivel de última milla.

**Tabla 4. Capacidad de cada operador según topologías**

<b>Empresa</b>	<b>Capacidad del backbone</b>	<b>Capacidad en Agregación</b>	<b>Capacidad última milla</b>
Empresa A	Mixto DWDM-IP 100Gbps y 10Gbps	Anillos IP de 1Gbps-10Gbps	50Mbps hasta 1Gbps
Empresa B	Mixto DWDM-IP 100Gbps y 10Gbps	Anillos IP de 1Gbps-10Gbps	50Mbps hasta 1Gbps
Empresa C	Mixto DWDM-IP de 10Gbps	Anillos IP de 1Gbps-10Gbps	50Mbps hasta 1Gbps

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

En la tabla anterior se refleja que, a nivel de backbone 2, las empresas ya cuentan con capacidades de 100Gbps mixto con tecnologías DWDM e IP. A nivel de la capa de agregación, las tres empresas tienen el mismo tipo de topologías, a nivel de anillos que van desde 1 a 10 Gbps, dependiendo de la zona geográfica, los cuales deben ser actualizados y migrar hacia 50 Gbps o 100 Gbps. Con respecto a la última milla, al igual que en la capacidad de agregación, los tres operadores manejan la misma topología; dependiendo de la zona geográfica, se manejan enlaces microonda con capacidades desde 50 Mbps hasta 500 Mbps; también se manejan conexiones con fibra de 1Gbps. En términos de capacidad, es suficiente para los servicios de la actualidad, sin embargos no es suficiente para los servicios venideros. El rubro en que se observan problemas es en la capa de última milla, la cual además es la que más afecta al usuario final.

### **3.3. Análisis de infraestructura y virtualización**

Para esta sección se realiza una entrevista con personal de cada empresa, donde se discute de manera concisa y objetiva cuál es el estado actual de la infraestructura y la planificación; al igual que en el análisis de capacidad, se respeta la

confidencialidad. En la tabla 5 se muestra si estas tres empresas ya tienen alguna solución de funciones virtuales sobre sus centros de datos, y además si prevén algún desarrollo o implementación de SDN a futuro.

**Tabla 5. Capacidad de cada operador según topologías**

<b>Empresa</b>	<b>Soluciones NFV adoptadas</b>	<b>¿NFV a futuro?</b>	<b>¿SDN a futuro?</b>
Empresa A	Sí	Sí	No
Empresa B	No	Sí	Sí (En implementación)
Empresa C	No	Sí	No

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

Como se muestra en la tabla 5, solo uno de los tres operadores ya cuenta con soluciones NFV dentro de su infraestructura, sin embargo, los otros dos ya contemplan estas soluciones a futuro. Pasa lo contrario con respecto a soluciones SDN, pues solo uno de los operadores se encuentra implementando SDN, mientras que los otros dos no tienen planificado incluirlo en sus entidades.

Durante el periodo de investigación se desarrolla una encuesta con personal de planificación de cada uno de los operadores de Red, de la cual se obtuvieron los resultados que se retratan a continuación.

En la tabla 6 se muestra la cantidad de personas encuestadas en los anexos 1 (Encuesta ICE) y 2 (Encuesta Telefónica). La empresa Claro no tiene el departamento de planificación local, este se encuentra en Guatemala. Se realizaron varios intentos para realizar la encuesta, sin embargo, nunca fue respondida.

En la tabla 6, se muestra la cantidad de personas encuestadas por empresa.

**Tabla 6. Cantidad de personas encuestadas por empresa**

Descripción	ICE	Telefónica	Claro
Total de encuestados	7	3	0
Puesto Relacionado con Telecomunicaciones	7	3	0

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

En la tabla anterior se refleja la problemática existente a la hora de obtener la información de la empresa Claro, en la cual no se pudo realizar ninguna encuesta. A partir de este momento solo se va a realizar el análisis con personas encuestadas de la empresa ICE y de la empresa Telefónica. En la tabla se aprecia que el 100% de los encuestados trabaja en redes de telecomunicaciones.

Los conocimientos de SDN de los encuestados muestra que todos los encuestados conocen el significado y entienden sobre una arquitectura. En el Anexo 1 y 2 se observa que todos los encuestados dieron una definición de SDN acertada, tal y como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7. Conceptos generales y arquitectura sobre SDN**

Descripción	ICE	Telefónica
Definición de SDN	100 %	100 %
Arquitectura de SDN	100 %	100 %

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

Con respecto a los beneficios de SDN, el 100% de los encuestados acertó, poniendo diferentes beneficios que brindan las redes definidas por software. Con

respecto a NFV, tal y como se muestra en la tabla 8, el 100% conoce sobre NFV, sin embargo, el 30% no conoce sobre una arquitectura NFV.

**Tabla 8. Conceptos generales y arquitectura sobre FNV**

<b>Descripción</b>	<b>ICE</b>	<b>Telefónica</b>
Definición de SDN	100 %	71 %
Arquitectura de SDN	100 %	67 %

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

Con respecto a los beneficios de NFV, se nota que no hay un conocimiento tan acertado como en SDN, ya que en algunos casos se repitieron los beneficios de SDN u otros estaban errados. Esto se puede apreciar en los anexos 1 y 2.

En la tabla 9 se observan las labores diarias que realizan los encuestados que podrían ser solucionados con SDN y NFV, además de cómo SDN podría beneficiar a la empresa donde trabajan.

**Tabla 9. Soluciones a labores y empresas por medio de SDN y NFV**

Empresa	Labores diarias que se podrían solucionar con SDN y NFV	Cómo SDN podría ayudar a su empresa
ICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción de costos</li> <li>▪ Creación de reglas de seguridad, creaciones de VPN, entre otros.</li> <li>▪ La planificación de las redes modernas debe ir orientada hacia el SDN y NFV.</li> <li>▪ Resolviendo diseños de redes de transporte y acceso.</li> <li>▪ Aprovisionamiento Extremo a extremo con diferentes proveedores de equipo.</li> <li>▪ Cambio de hardware; no todos conocen los distintos lenguajes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora el despliegue de servicios disminuyendo los costos e incrementando la escalabilidad de la red.</li> <li>▪ Ayudará a realizar trabajos de una manera más ágil sin estar realizando inversiones a corto plazo para asegurar el desarrollo interno y externo de la institución y estar en un ambiente competitivo, innovador y seguro, como lo indica el mercado de hoy.</li> <li>▪ Simplificar arquitecturas, administrar multi-vendors.</li> </ul>
TFL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Configuración de servicios y validación de capacidad de red.</li> <li>▪ Detección de causa raíz y automatización de altas de servicios nuevos.</li> <li>▪ Actualmente estamos en un proceso de despliegue y aprendizaje en todas las áreas de la organización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar tiempos de integración de servicios nuevos, detección de fallas, planinng.</li> <li>▪ Mucho va en temas de automatización, menores tiempos de configuración, un mejor uso del capex y opex disponible.</li> </ul>

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

El grado de preparación de las empresas para adoptar las nuevas tecnologías mencionadas se vislumbra en la tabla 10, la cual arroja que de la empresa ICE, aunque el 28% de los encuestados opina que la misma no se encuentra preparada para SDN y NFV, el 100% opina que la arquitectura de la red actual sí se encuentra lista para adoptar SDN y NFV; mientras tanto, en la empresa Telefónica, el 100% de los encuestados piensa que la empresa no está preparada, y un 67 % opina que la topología de la red actual sí se encuentra lista para este tipo de nuevas tecnologías.

**Tabla 10. Preparación de las empresas en términos de SDN y NFV**

Descripción	ICE		Telefónica	
	Sí	No	Sí	No
¿Está la empresa preparada para SDN y NFV?	72%	28%	0%	100%
¿Está la topología de red de su empresa preparada para SDN y NFV?	100%	100%	33%	67%

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

En la encuesta realizada se planteó en la última parte el conocimiento sobre 5G, ya que para que 5G se desarrolle es necesario adoptar la virtualización y las redes definidas por software. Esto con el fin de determinar los conocimientos y las falencias actuales de las empresas con respecto al desarrollo y el despliegue de 5G.

En la tabla 11 se muestra si los encuestados tienen algún conocimiento sobre 5G, y queda claro que un alto porcentaje sí conoce sobre esta tecnología (85% en el ICE y 100% en Telefónica).

De igual manera, en la tabla 11 se aprecia que un alto porcentaje de los encuestados opina que la red de su empresa se encuentra preparada para la implementación de un servicio 5G.

**Tabla 11. Conocimientos sobre 5G**

Descripción	ICE		Telefónica	
	Sí	No	Sí	No
Conocimiento en 5G	85%	15%	100%	0%
¿Está preparada la red para 5G?	72%	28%	67%	33%

**Fuente:** Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2

En la última parte de la encuesta se les realiza la siguiente pregunta a los encuestados, ***¿Qué le hace falta a su empresa para dar un servicio 5G? Si esta investigación y la encuesta es sobre SDN y NFV, ¿Qué tiene que ver 5G?***, la respuesta es que al ser empresas dedicadas a las nuevas tecnologías de telecomunicaciones, ya se tiene un conocimiento sobre 5G, sin embargo, para adoptar 5G es necesario hacer redes definidas por software y virtualización. Por lo tanto, esta pregunta se enfoca en la verificación respecto a si se debe optimizar la red para la implementación de 5G, y por ende SDN y NFV (las respuestas a este respecto se ven reflejadas en la tabla 12).

**Tabla 12. Despliegue de 5G**

Empresa	Qué le falta a su empresa para desplegar 5G
ICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disminución de saltos ip mejorar cobertura de capa óptica</li> <li>▪ Es necesario conocer más la arquitectura de 5G Analizar en detalle la demanda que se esperará de la capa de acceso.</li> <li>▪ Todo lo tiene</li> <li>▪ Última milla</li> <li>▪ Conciencia en personal que toma decisiones</li> </ul>
TFL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Upgrade de software hardware para reducir latencia, aumentar capacidad de transporte.</li> <li>▪ Es escenario NSA, aumentar capacidad transporte de fase II de 5G en adelante</li> <li>▪ Mayor inversión en equipos dwdm, acercar la capa dwdm al acceso de la red.</li> <li>▪ Renovación de equipos en todas las capas.</li> <li>▪ Cambiar la arquitectura de la red de MW de la red.</li> </ul>

**Fuente: Elaboración propia. Análisis de Anexo 1 y 2**

De la tabla se puede concluir que para implementar 5G los encuestados solo responden sobre renovación de equipos, disminuir la capa IP, o hacer análisis del equipamiento existente. Ninguno de los encuestados responde sobre la topología actual o el despliegue de SDN como primer paso, lo cual da a entender que SDN y NFV es posible en estas entidades, y que lo necesario para 5G recae sobre otras aristas de la Red.



## Conclusiones

1. Las empresas de telecomunicaciones de Costa Rica deben de implementar redes definidas por software y virtualización de funciones virtuales con el fin de mejorar sus capacidades y latencias.
2. A nivel de capacidad y latencia, no se está preparado para brindar servicios de alta demanda como 5G.
3. Los encuestados de los proveedores de servicios móviles ICE, con su marca Kolbi, y Telefónica, con su marca Movistar, creen que su empresa está preparada para adoptar tecnologías de redes definidas por software y virtualización de funciones virtuales.
4. El 100% de los encuestados conocen de la definición y arquitectura de SDN, además de los beneficios que brinda este tipo de tecnología.
5. Aunque el 100% de los encuestados conocen de la definición de NFV, el 30% no conoce sobre arquitecturas NFV.
6. La implementación de SDN y NFV puede ayudar al 100% de los encuestados, además traería grandes beneficios a sus empresas.

## Recomendaciones

Como se pudo observar con el estudio desarrollado, en este momento si los operadores desean brindar los servicios que el mercado demanda, con altas capacidades, baja latencia e IOT, es necesario que implementen soluciones SDN y NFV; dicha implementación, aunque es posible, requiere la ejecución de inversiones de última milla, así como la implementación de infraestructura a nivel de virtualización.

Asimismo, es imperante verificar los equipos actuales de cada uno de los operadores, ya que para una implementación de nivel de redes definidas por software es necesario que sean compatibles con los estándares internacionales.

Además, se debe invertir en un controlador capaz de manejar todos los equipos que se encuentren en la red, para lo cual, como se dijo anteriormente, es posible que en algunos casos sea necesario actualizar las versiones de software o, en casos más extremos, tener que cambiar el equipo de forma completa.

Por todo lo anterior, se recomienda a los operadores realizar una revisión completa del hardware y el software que tienen en cada una de sus capas de red, y hacer un análisis de controladores que puedan manejar los equipos que se encuentran operando en sus redes.

En muchas ocasiones en Costa Rica primero se lanza un servicio y luego, dependiendo del desarrollo del mismo, se realizan las inversiones a nivel de capa de transporte, esto conlleva a que la experiencia del usuario sea de una calidad inferior a lo ofrecido por la empresa. Por ello, la recomendación para brindar los servicios que demanden alta capacidad y baja latencia es tener la red preparada antes de brindar el servicio.

Un ejemplo de esto sería ofrecer video con definición 4K aunque los anchos de banda no soporten lo requerido; se podría vender bien si invierte en el mejoramiento

de la red, pero el problema es que el usuario experimenta una mala experiencia y puede desechar el servicio si este no cumple las expectativas desde que comienza a pagar por él. Antes de ofrecer un servicio hay que asegurar que a nivel de transporte sea posible.

## Bibliografía

- Arstechnica, Tecnología 5G. Consultado el 19 de marzo de 2020. <https://arstechnica.com/information-technology/2017/02/5g-imt-2020-specs/>
- Ciena Networks, Tecnología SDN. Consultado el 19 de marzo de 2020. [https://www.ciena.com.mx/insights/what-is/What-is-SDN es LA.html](https://www.ciena.com.mx/insights/what-is/What-is-SDN-es-LA.html)
- CISCO, Software define network. Extraído el 14 de octubre de 2019 desde <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html>
- Deloitte, Predicciones 2020. Consultado el 19 de marzo de 2020. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/technology-media-telecommunications/at-tmt-predictions-2020.pdf>
- ETSI, Network Functions Virtualisation (NFV). Consultado el 15 de octubre de 2019 <https://www.etsi.org/technologies/nfv>
- Gartner, Glosario SDN. Extraído el 15 de octubre de 2019 desde <https://www.gartner.com/it-glossary/software-defined-networks>
- Google, Acerca de google forms. Extraído el 19 de octubre de 2019 desde <https://www.google.com/forms/about/>
- Huawei Technologies, Huawei Releases SDN/NFV Commercial and Technological Innovations. Consultado el 15 de octubre de 2019 <https://www.huawei.com/en/press-events/news/2017/10/Huawei-SDN-NFV-Commercial-Technological-Innovations>

- ITU, Seminario SDN. Consultado el 19 de marzo de 2020. <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20180604/Documents/Session1.pdf>
- ITU, Estándares NFV. Consultado el 19 de marzo de 2020. [www.itu.int › rec › T-REC-Y.3150](http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3150)
- [Martyn Shuttleworth](#) ¿Qué es el Método Científico? Oct 18, 2019 Obtenido de Explorable.com: <https://explorable.com/es/que-es-el-metodo-cientifico>
- Nokia Networks, Datacenter SDN. Consultado el 14 de octubre de 2019 desde <https://www.nokia.com/networks/portfolio/data-center-sdn/>
- ONF, SDN Overview. Extraído el 15 de octubre de 2019 desde <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>
- Verizon, Latencias en tecnología 5G. Consultado el 19 de marzo de 2020. <https://www.verizon.com/about/our-company/5g/5g-latency>
- VMware, Software defined Networking (SDN). Extraído el 15 de octubre de 2019 desde <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/sdn>
- VMware, vCloud NFV. Consultado el 15 de octubre de 2019 <https://www.vmware.com/products/network-functions-virtualization.html>
- Wikipedia, Network function virtualization. Consultado el 15 de octubre de 2019 desde [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_function\\_virtualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_function_virtualization)
- Wikipedia, Definición de Latencia. Consultado el 19 de marzo de 2020. <https://es.wikipedia.org/wiki/Latencia>

## Glosario

- SDN: Software define Network
- NFV: Networ Function Virtualization
- ONF: Open Networking Foundation
- IETF: Internet Engineering Task Force
- ETSI: European Telecommunications Standards Institute
- ETSI ISG: Industry Specification Group
- ISP: Internet Service Provider
- BGP: Border Gateway Protocol
- NBI: Northbound Interface
- SBI: Southbound Interface
- NFV: Network Function Virtualization
- NFVI: Network Function Virtualization Infrastructure
- NFV MANO: management and network orquestration
- OPNFV: Open Platform for NFV
- NGMNÑ Next Generation Mobile Network

## Anexos

### Anexo 1. Resumen de encuesta realizada a Telefónica, extraído de Google forms

#### Pregunta 1.

¿Su puesto está relacionado con Redes de Telecomunicaciones?
No
Sí
Sí

#### Pregunta 2.

¿Sabe usted el significado de SDN?
Sí
Sí
Sí

#### Pregunta 3.

¿Cómo define SDN?
Software define Network
Software define network
Software define networks

#### Pregunta 4.

¿Conoce una arquitectura SDN?
Sí
Sí
Sí

#### Pregunta 5.

¿Cuáles son los beneficios de SDN?
Configuración de red y nuevos servicios basado en una plataforma centralización y automatización de procesos multivendor
Automatización de la red, tener un nivel de orquestación para que la red pueda comportarse de manera diferente dependiendo de los tipos de tráfico, utilizar mediciones de telemetría para tomar acciones también por medio de la orquestación.

**Pregunta 6.**

¿Conoce sobre NFV?
Sí
Sí
Sí

**Pregunta 7.**

¿Conoce sobre arquitecturas de NFV?
No
Sí
Sí

**Pregunta 8.**

¿Cuáles son las principales ventajas de NFV?
N/a
Orquestación de OSS multivendor
Te permite virtualizar muchos servicios en una arquitectura virtualizada multifuncional, incluso te da la ventaja hasta de utilizar ambientes cloud

**Pregunta 9.**

¿En sus labores diarias afronta problemas que se podrían solucionar con SDN y NFV? ¿Como cuáles?
Configuración de servicios y validación de capacidad de red
Sí, detección de causa raíz y automatización de altas de servicios nuevos
Actualmente estamos en un proceso de despliegue y aprendizaje en todas las áreas de la organización

**Pregunta 10.**

¿Cómo podría SDN y NFV ayudar en la red de su empresa?
Sí
Aumentar tiempos de integración de servicios nuevos, detección de fallas, planinng
Mucho va en temas de automatización, menores tiempos de configuración, un mejor uso del capex y opex disponible.



**Pregunta 11.**

¿Está preparada la red de su empresa para SDN + NFV?
No
No
No

**Pregunta 12.**

Teniendo en mente la topología de su empresa, ¿Está la red preparada para adoptar arquitecturas SDN y NFV?
No
No
Sí

**Pregunta 13.**

¿Tiene conocimiento sobre 5G?
Sí
Sí
Sí

**Pregunta 14.**

A nivel de red de transporte, ¿podría su empresa implementar 5G al día de hoy?
No
No
No

**Pregunta 15.**

A nivel de red de transporte, ¿Qué le falta a su empresa para implementar 5G?
Upgrade de software hardware para reducir latencia, aumentar capacidad de transporte.
En escenario NSA, aumentar capacidad transporte de fase II de 5G en adelante
1. Mayor inversión en equipos dwdm, acercar la capa dwdm al acceso de la red. 2. Renovación de equipos en todas las capas. 3. Cambiar la arquitectura de la red de MW de la red.

## Anexo 2. Resumen de encuesta realizada al ICE, extraído de Google forms

### Pregunta 1.

¿Su puesto está relacionado con Redes de Telecomunicaciones?
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí

### Pregunta 2.

¿Sabe usted el significado de SDN?
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí
Sí

### Pregunta 3.

¿Cómo define SDN?
Redes definidas por software
Software Defined Networking
Software Define Network, redes definidas por software
Redes definidas por software
Diseño de redes de comunicaciones basadas en software
En español Redes definidas por software
Software-Defined Networking



**Pregunta 7.**

¿Conoce sobre arquitecturas de NFV?
Sí
No
No
Sí
Sí
Sí
Sí

**Pregunta 8.**

¿Cuáles son las principales ventajas de NFV?
Procesamiento en la nube
Reduce el opex y el capex
No se depende de un hardware dedicado lo cual permite a las telcom despliegues de la soluciones de telecomunicaciones de una manera más ágil.
La virtualización de funciones de red, permite en un solo equipo tener diferentes funcionalidades: routing, firewall, dpi entre otros
Optimización de los elementos de red en un ambiente virtual
Virtualiza todas las funciones de red, generando API que facilita la administración y control de recursos de red
Ahorro en hardware, mayor eficiencia, latencias más bajas

**Pregunta 9.**

¿En sus labores diarias afronta problemas que se podrían solucionar con SDN y NFV? ¿Cómo cuáles?
Dónde instalar el equipo
Reducción de costos
Sí, creación de reglas de seguridad, creaciones de VPN, entre otros
Sí... la planificación de las redes modernas debe ir orientada hacia el SDN y NFV
Resolviendo diseños de redes de transporte y acceso.
Sí, es necesario que los aprovisionamientos se hagan extremo a extremo a pesar de usar equipos de marcas distintas y por ende gestiones de red distintas, es necesario tener inventarios de recursos físicos y lógicos tanto de lo existente como lo planeado, es necesario contar con API que faciliten los controles de servicios y sus parámetros.
Cambio de hardware, no todos conocen los distintos lenguajes



**Pregunta 13.**

¿Tiene conocimiento sobre 5G?
Sí
Sí
No
Sí
Sí
Sí
Sí

**Pregunta 14.**

A nivel de red de transporte, ¿podría su empresa implementar 5G al día de hoy?
Sí
Sí
No
No
Sí
Sí
Sí

**Pregunta 15.**

A nivel de red de transporte, ¿Qué le falta a su empresa para implementar 5G?
Disminución de saltos y mejorar cobertura de capa óptica
N/A
No aplica por dos respuestas anteriores.
Es necesario conocer más la arquitectura de 5G
Analizar en detalle la demanda que se esperaría de la capa de acceso.
Todo lo tiene
Última milla