



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE HIPERCONVERGENCIA EN LA RED MÓVIL 5G

AUTOR

Edison Fernando Sevilla Riofrío

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE HIPERCONVERGENCIA EN LA RED MÓVIL 5G

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y Telecomunicaciones.

Profesor Guía

M.Sc. Carlos Enrique Carrión Betancourt

Autor

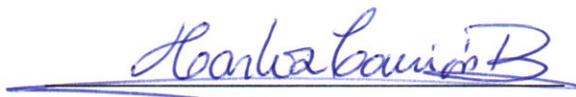
Edison Fernando Sevilla Riofrío

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Análisis de hiperconvergencia en la red móvil 5G, a través de reuniones periódicas con el estudiante Edison Fernando Sevilla Riofrío, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Carlos Enrique Carrión Betancourt

Master en Ciencias en Telecomunicaciones y Telemática

C.I. 110373807-4

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Análisis de hiperconvergencia en la red móvil 5G, del estudiante Edison Fernando Sevilla Riofrío, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Nathaly Verónica Orozco Garzón

Doctora en Ingeniería Eléctrica en el área de Telecomunicaciones y Telemática

C.I. 172093858-6

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'E' and 'S' followed by 'Ríofrío', written above a horizontal line.

Edison Fernando Sevilla Ríofrío

C.I. 171604519-8

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su ayuda incondicional.

DEDICATORIA

A Dios, porque la gloria es suya.

RESUMEN

Este documento fue creado con el fin de realizar un estudio del arte concerniente a hiperconvergencia aplicada en la quinta generación de telefonía celular. Se analiza los elementos clave de hiperconvergencia y su potencial en la aplicación sobre 5G. Se cita ventajas y desventajas de hiperconvergencia sobre 5G. En este análisis se ha aplicado el método exploratorio para obtener información del marco técnico de hiperconvergencia aplicada en 5G y sus elementos clave junto con su potencial, además de pros y contras de este ejercicio; finalmente se muestra conclusiones y recomendaciones en base al análisis de textos científicos. En cada capítulo se tiene varias graficas que ayudan a entender de mejor manera algunos conceptos complejos y se cuenta con una sección de anexos que contiene documentos que respaldan la información citada.

ABSTRACT

This document was created in order to carry out an art study concerning hyperconvergence applied in the fifth generation of cellular telephony. The key elements of hyperconvergence and their potential in the application on 5G are analyzed. Advantages and disadvantages of hyperconvergence over 5G are cited. In this analysis, the exploratory method has been applied to obtain information on the hyperconvergence technical framework applied in 5G and its key elements along with its potential, in addition to the pros and cons of this exercise; Finally, conclusions and recommendations are shown based on the analysis of scientific texts. In each chapter there are several graphs that help to better understand some complex concepts and there is an annex section that contains documents that support the information cited.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Antecedentes.....	1
Alcance.....	1
Justificación.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
1. Capítulo I. Marco Teórico.....	3
1.1. Arquitectura de la Red 5G.....	3
1.2. Interconexión sobre 5G.....	6
1.2.1. Arquitectura Inalámbrica Abierta.....	7
1.2.2. Capa de Red.....	10

1.2.3. Protocolo de Transporte Abierto.....	12
1.2.4. Capa de Aplicación.....	13
2. Capítulo II. Hiperconvergencia sobre 5G.....	16
2.1. Diferencia entre Convergencia e Hiperconvergencia en el Núcleo de la Red.....	17
2.2. Aplicación de Hiperconvergencia sobre 5G.....	18
3. Capítulo III. Elementos Clave de Hiperconvergencia sobre 5G y su Potencial.....	19
3.1. Cómputo y Almacenamiento.....	20
3.2. Red Hiperconvergente.....	20
3.3. Virtualización.....	20
3.4. Potencial de cada Elemento de Hiperconvergencia.....	21
4. Capítulo IV. Ventajas y Desventajas de Hiperconvergencia en 5G.....	27
4.1. Ventajas.....	27

4.2. Desventajas.....	30
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	32
5.1. Conclusiones.....	32
5.2. Recomendaciones.....	33
REFERENCIAS.....	35
ANEXOS.....	40

Introducción

Antecedentes

En todo el mundo, los usuarios de la telefonía celular tienen muchas expectativas sobre la quinta generación (5G). En la comunidad internacional, ya se han asignado recursos del espectro radioeléctrico y se han realizado pruebas (20 Minutos, 2013); en Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) indica que en 2019 se definiría la llegada de esta nueva tecnología (El Universo, 2018). La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, del inglés, *International Telecommunication Union*) indica que para el 2020 se espera arranquen las actividades precomerciales de 5G en diferentes partes del mundo. Entre las principales aplicaciones que plantean nuevos retos están: video 3D (tres dimensiones), telemedicina, vehículos autónomos y realidad aumentada (ITU, 2018).

En el centro de la red (en inglés, *Core*) la convergencia ha ido ganando terreno hasta llegar actualmente a la hiperconvergencia logrando que el cómputo, almacenamiento y red se integren eficientemente (MicroAge, 2019) y esto a su vez sea aplicable en tecnología móviles como lo es 5G (ECI, 2018).

Alcance

Investigar cómo se logra hiperconvergencia en las áreas de acceso, borde de la red y núcleo de la red de 5G con el fin de sentar bases para el estudio de esta nueva tecnología y apalancar el desarrollo de nuevos proyectos que solucionen y planteen el aprovechamiento de las ventajas de esta nueva tecnología y porque no el hecho de aprovechar las desventajas para explorar nuevos campos que potencien aún más las comunicaciones móviles. Para lograr lo antes

mencionado, se recurrirá a documentos que la comunidad científica internacional ha publicado y también a profesionales de vasta experiencia en lo que respecta a telefonía móvil terrestre (celular), para desarrollar un documento que sirva de partida a otros proyectos encaminados a brindar soluciones a nuestra sociedad.

Justificación

Debido a la poca investigación referente a esta tecnología y dado que en nuestro país no se mira con proyección a atraer inversión en este servicio; se plantea un documento que sirva como pauta para destacar los beneficios y ver con otra perspectiva las desventajas de 5G, con miras a desarrollar nuevos proyectos, mercados y servicios para que sean incluidos dentro la nueva matriz productiva del país con la premisa de mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos y más aun de que aquellos que tienen alguna discapacidad.

Objetivo General

- Crear un documento que contenga información técnica sobre hiperconvergencia en la red 5G.

Objetivos Específicos

- Analizar técnicamente la hiperconvergencia en la red 5G.
- Establecer los elementos clave y su potencialidad en lo que respecta a hiperconvergencia en la red 5G.
- Determinar las ventajas y desventajas de la hiperconvergencia en la red 5G.

1. Capítulo I. Marco Teórico

1.1. Arquitectura de la Red 5G

En esta sección se realiza una comparación de la arquitectura y el modelo de interconexión entre 4G y 5G, posteriormente se analiza los tramos en los que se divide la arquitectura y las capas del modelo de interconexión de 5G y sus elementos de red más importantes.

En la siguiente gráfica se muestra una comparación de la arquitectura e interconexión para 4G y 5G en base al modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos:

Modelo OSI		Capas							
		Física	Enlace de Datos	Red	Transporte	Sesión	Presentación	Aplicación	
Arquitectura	Generación	Tramo							
	4G	Frontal		Posterior					
	5G	Frontal	Central	Posterior					
Interconexión		Capas							
		4G	Física	Enlace de Datos	Red	Transporte	Aplicación		
		5G	Arquitectura Inalámbrica Abierta	Red		Protocolo de Transporte Abierto		Aplicación	
Inferior	Superior								

Figura 1. Comparación entre las redes 4G y 5G, en base al modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, del inglés, *Open Systems Interconnection*).

Adaptado de (IEEE, 2013).

En la siguiente gráfica se muestran los tramos en los que se divide la arquitectura de 5G:

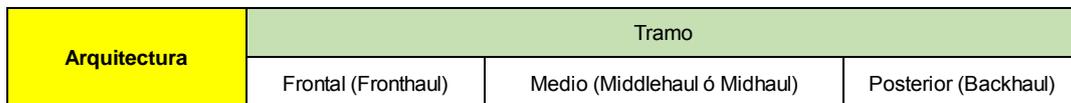


Figura 2. Tramos de la Arquitectura de 5G.

Adaptado de (IEEE, 2013).

En la siguiente gráfica se muestran en color blanco los elementos de más importantes dentro de la arquitectura de 5G:

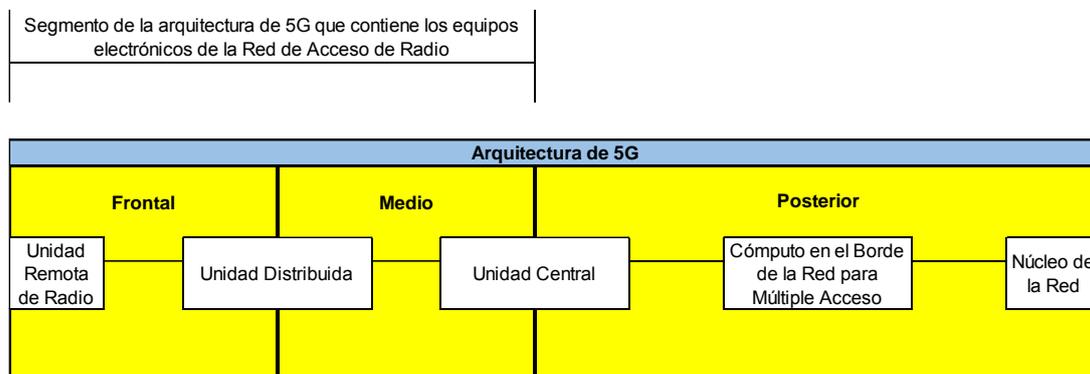


Figura 3. Elementos de Red de la Arquitectura de 5G.

Adaptado de (ITU, 2018).

En la arquitectura de 5G, la Red de Acceso de Radio (RAN, del inglés, *Radio Access Network*) es la porción de red por la que el usuario final accede a la red y está compuesta por los siguientes elementos: Sistema Remoto de Radio (RRU, del inglés, *Remote Radio Unit*), Unidad Distribuida (DU, del inglés, *Distributed Unit*) y Unidad Centralizada (CU, del inglés, *Centralized Unit*); a continuación, se describe cada elemento de la Red de Acceso de Radio (ITU, 2018):

- **Sistema Remoto de Radio.** Este componente del tramo Frontal es el punto de acceso del usuario final y la posee interfaz de aire (para comunicarse con los dispositivos móviles inalámbricos) que se conecta a una unidad externa de radio frecuencia que tiene la interfaz que se conecta a la Unidad Distribuida. (EXFO, 2019).
- **Unidad Distribuida.** Este elemento de red conecta el tramo Frontal con el tramo Medio. Este dispositivo gestiona: los parámetros de Capa Física, Control de Radio Enlace (RLC, del inglés, *Radio Link Control*), Control de Acceso al Medio (MAC, del inglés, *Medium Access Control*) de la Unidad Remota de Radio y la interfaz que se conecta a la Unidad Centralizada (CIENA, 2018).
- **Unidad Centralizada.** Este elemento de red conecta el tramo Medio con el tramo Posterior. Este dispositivo centraliza y controla el funcionamiento de la Unidad Distribuida. Gestiona el Control de Recursos de Radio (RRC, del inglés, *Radio Resource Control*), el Protocolo de Convergencia de Datos por Paquete (PDCP, del inglés, *Packet Data Convergence Protocol*) (CIENA, 2018) y la interfaz que se conecta al elemento que hace el Cómputo en el Borde de la Red para Múltiple Acceso (MEC, del inglés, *Multi-access Edge Computing*).

En la arquitectura de 5G el tramo Posterior contiene los siguientes elementos: Cómputo en el Borde de la Red para Múltiple Acceso y el Núcleo de la Red (del inglés, *Core*); a continuación, se describe cada elemento del tramo Posterior:

- **Cómputo en el Borde la red para Multiacceso.** Este elemento de red ejecutará las tareas necesarias más cerca del usuario final con el fin de brindar una latencia menor y otorgar mayor ancho de banda al usuario y a la gestión de red, además brindará acceso en tiempo real a la información de la red de radio

que será aprovechado por las aplicaciones para mejorar la experiencia del usuario final sea este una persona o una máquina. El elemento Cómputo en el Borde de la Red para Múltiple Acceso posee la interfaz que se conecta al Núcleo de la Red en capa 3 (CIENA, 2018).

- **Núcleo.** Esta parte está formada por el plano de paso (en inglés, *Forwarding Plane*) y el plano de control (en inglés, *Control Plane*). Debido a que se aplica virtualización, el control de red y servicios se gestiona a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, del inglés, *Application Programming Interface*) que es parte del plano de control mismo que se soporta sobre el plano de paso (ITU, 2018).

1.2. Interconexión sobre 5G

En esta sección se analiza las capas del modelo de interconexión de 5G y cada uno de sus principales elementos de red.

En la siguiente gráfica se muestra las capas de interconexión de 5G:

Interconexión	Capas			
	Arquitectura Inalámbrica Abierta (OWA, del inglés, <i>Open Wireless Architecture</i>)	Red		Protocolo de Transporte Abierto (OTP, del inglés, <i>Open Transport Protocol</i>)
Inferior		Superior		

Figura 4. Capas del Modelo de Interconexión para 5G.

Adaptado de (IEEE, 2013).

1.2.1. Arquitectura Inalámbrica Abierta (OWA, del inglés, *Open Wireless Architecture*)

OWA define las interfaces abiertas en redes y sistemas inalámbricos para que los usuarios puedan comprar diferentes partes de varios proveedores. El sistema OWA es actualizable y extensible. Además, el sistema puede admitir varios estándares a través de parámetros de interfaz abiertos (IEEE, 2013).

En la siguiente gráfica se muestra las principales partes de la Arquitectura Inalámbrica Abierta:

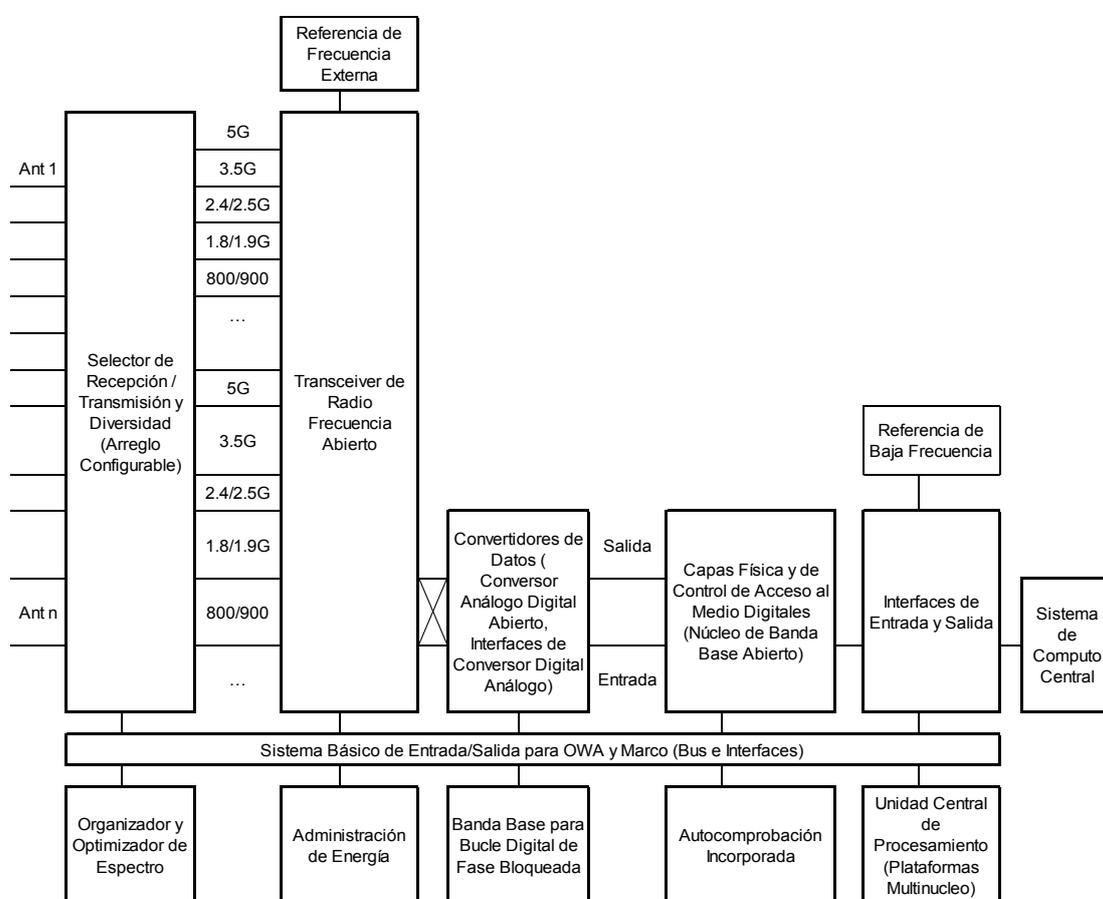


Figura 5. Arquitectura Inalámbrica Abierta.

Adaptado de (Palo Alto Research Inc., 2013).

En la Figura 5 se muestra la arquitectura OWA que tiene entre sus componentes:

- **Receptor/Transmisor y Selector de Diversidad de Antena.** Este elemento de OWA contiene los conjuntos de antenas configurables y las tecnologías de antena de diversidad de espacio y tiempo, incluyendo la tecnología de antena inteligente (pero sin limitarse a esta), la tecnología de formación de haz digital, tecnología Múltiple Entrada y Múltiple Salida (MIMO, del inglés, *Multiple In Multiple Out*) y tecnología de calibración de antena (Palo Alto Research Inc., 2013).
- **Transceptor de Radio Frecuencia Abierto.** Este elemento convierte la señal de radiofrecuencia en la señal de baja frecuencia o frecuencia intermedia y viceversa. También convierte la señal de radio a la señal de banda base después del muestreo, y viceversa. Este transceptor está diseñado para una arquitectura abierta, lo que significa que los conductores de transmisión y recepción admiten tecnologías de transmisión inalámbrica de múltiples bandas y múltiples estándares, incluidas las tecnologías de radio por aire (existentes y del futuro próximo) (Palo Alto Research Inc., 2013).
- **Convertidores de Señal.** Este componente convierte la señal de frecuencia analógica en el flujo de datos digitales y viceversa. Estos convertidores están diseñados con una plataforma de arquitectura abierta basada en interfaces OWA para que los convertidores puedan ser reconfigurables, actualizables y en “modo conecta y usa” (del inglés, *plug and play*). La conexión entre el mencionado transceptor de radio frecuencia abierto y los convertidores de señal es una matriz de red cruzada para soportar la futura convergencia e integración del transceptor de Radio Frecuencia y la conversión digital, por ejemplo, Convertidor Análogo Digital y Convertidor Digital Análogo

será integrado en el sistema transceptor de Radio Frecuencia. Lo recomendable es que el procesamiento digital debe estar lo más cerca posible de la antena, por lo tanto, para el sistema de radio OWA, el lugar típico para conversión análogo digital o digital análogo es el mencionado Transceptor de Radio Frecuencia Abierto (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Capa Física y de Control de Acceso al Medio.** Estas capas construyen el núcleo de procesamiento de banda base abierta para procesar varios algoritmos de transmisión, protocolos de control de acceso y protocolos de gestión de recursos, etc. Es una plataforma de procesamiento de banda base abierta y común (tomando en cuenta que en la interfaz aire están consideradas: las diversas generaciones de telefonía celular, WLAN, WiMax y PAN) para el sistema OWA (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Sistema Básico de Entrada/Salida y Marco.** Este sistema define la arquitectura de bus OWA y la arquitectura de interfaces para administrar la arquitectura abierta *plug and play* de todo el sistema OWA. También programa las operaciones de los diferentes módulos funcionales y unidades del sistema de radio OWA (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Unidad Central de Procesamiento (CPU, el inglés, *Central Processing Unit*).** Es una plataforma de procesamiento de múltiples núcleos que tiene objetivos bien definidos desde el punto de vista algorítmico, de software y de arquitectura para el sistema OWA, así como las mejores combinaciones de algoritmos y optimizaciones del sistema para requisitos futuros de seguridad y privacidad, usabilidad y fiabilidad (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Organizador y Optimizador de Espectro.** Este componente administra las tecnologías de intercambio dinámico de espectro y reciclaje de espectro para

maximizar la utilización del espectro en el sistema OWA. La gestión dinámica del espectro es extremadamente importante para las comunicaciones inalámbricas futuras porque proporciona una vista en tiempo real de los recursos de espectro disponibles y hace que el uso del espectro sea más eficiente, productivo y flexible (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Administración de Energía.** Este elemento optimiza el consumo de energía y la programación de energía en todas las unidades funcionales del sistema OWA. También define las soluciones de mejor esfuerzo para el administrador de energía del terminal en diferentes modos de operación: suspensión, espera, recepción y transmisión, así como sus modos de operación en la nube (Palo Alto Research Inc., 2013).

- **Autoprueba Incorporada (BIST, del inglés, *Built-In Self-Test*).** Es una unidad de sistema importante para la prueba automática, operación y mantenimiento (O&M, del inglés, *Operation and Maintenance*), depuración, rendimiento y pruebas de evaluación del sistema OWA. También es una de las tareas necesarias en el proceso de inicialización del sistema. (Palo Alto Research Inc., 2013).

1.2.2. Capa de Red

En esta sección se analiza cómo opera la capa de red con respecto al direccionamiento IP y cómo se accede a los recursos del Núcleo de la Red.

En la siguiente gráfica se muestra las principales partes de la capa de red de interconexión en 5G:

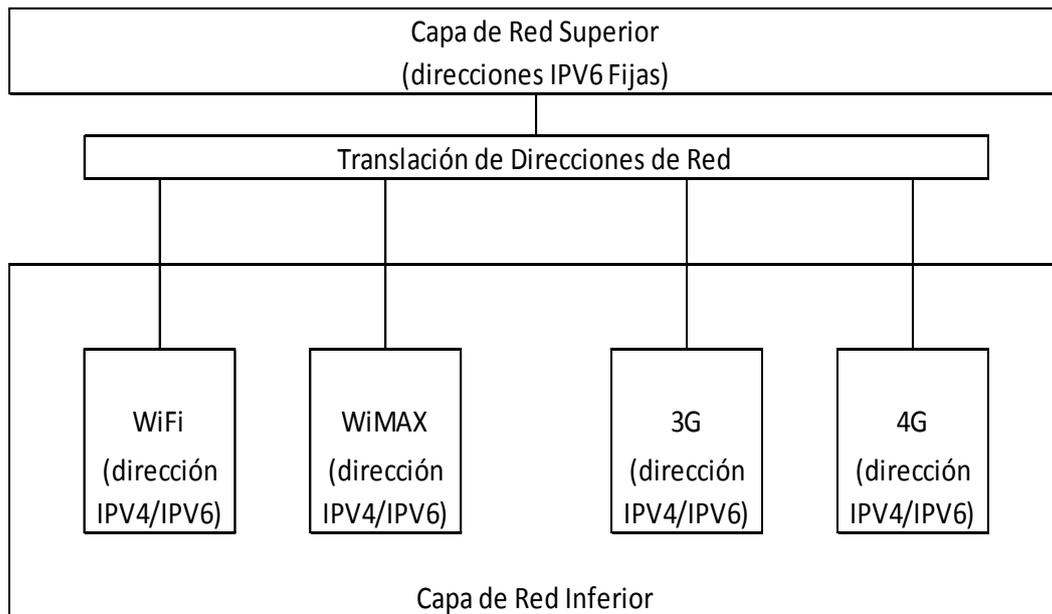


Figura 6. Capas de Red para 5G.

Adaptado de (Elkhodr, Hassan y Shahrestani, 2018, pp. 108).

El teléfono móvil 5G deberá mantener un entorno virtual de red inalámbrica múltiple (es decir, el equipo terminal poseerá interfaces para distintas tecnologías como lo son WiFi, WiMAX, 3G, 4G, 5G). Para este propósito, debe haber separación de la capa de red en dos subcapas en móviles 5G, es decir: Capa de red inferior (para cada interfaz) y Capa de red superior (para el terminal móvil). Esto se debe al diseño inicial de Internet, donde todo el enrutamiento se basa en direcciones IP que deberían ser diferentes en cada red IP en todo el mundo. El software que funciona como puente (en inglés, *middleware*) entre las capas de red superior e inferior mantendrá la traducción de direcciones de red (NAT, del inglés, *Network Address Translation*) de la dirección de red superior (IPv6) a diferentes direcciones IP de red inferior (IPv4 o IPv6), y viceversa (IEEE, 2013).

1.2.3. Protocolo de Transporte Abierto (OTP, del inglés, *Open Transport Protocol*)

En esta sección se explica como la capa de transporte opera para que se logre el acceso a la capa de Aplicación y los protocolos de transporte que se usaran para 5G.

En la siguiente tabla se muestra las características y aplicabilidad de los protocolos del Protocolo de Transporte Abierto:

Tabla 1.

Descripción general del Protocolo de Transmisión de Control de Flujo (SCTP, del inglés, Stream Control Transmisión Protocol) y del Protocolo de Control de Congestión de Datagramas (DCCP, del inglés, Datagram Congestion Control Protocol).

Protocolo	Características	Aplicabilidad
Protocolo de Transmisión de Control de Flujo	<ul style="list-style-type: none"> -Multi-streaming y multi-homing -Protocolo de enlace de 4 pasos -Conexión medio cerrada -Control de flujo -Protege contra ataques de inundación de Sincronización (SYN) 	<ul style="list-style-type: none"> -Señalización de datos a través de redes IP -Se utiliza dentro de la parte central de las redes móviles 3G y 4G totalmente IP
Protocolo de Control de Congestión de Datagramas	<ul style="list-style-type: none"> -Multi-streaming y Multi-homing -Flujo no confiable de datagramas, con acuses de recibo -Protocolo de enlace confiable para configurar el montaje y desmontaje -Notificación explícita de congestión 	<ul style="list-style-type: none"> -Servicios de restricciones de tiempo (medios de transmisión, juegos en línea multijugador, videoconferencia, etc.) -Mecanismo de control de congestión general para aplicaciones basadas en UDP

Adaptado de (Springer, 2015)

Las redes móviles e inalámbricas difieren de las redes cableadas con respecto a la capa de transporte. En todas las versiones de TCP, se supone que los segmentos perdidos se deben a la congestión de la red, mientras que en las redes inalámbricas pueden producirse pérdidas debido a una mayor relación de error de bits en la interfaz de radio. Por lo tanto, se proponen modificaciones y adaptaciones TCP para las redes móviles e inalámbricas, que retransmiten los segmentos TCP perdidos o dañados a través del enlace inalámbrico solamente. Para los terminales móviles 5G será adecuado tener una capa de transporte que se pueda descargar e instalar. Dichos teléfonos móviles tendrán la posibilidad de descargar (por ejemplo, SCTP, DCCP, etc. o una nueva versión del protocolo de transporte) que esté dirigida a una tecnología inalámbrica específica instalada en las estaciones base (IEEE, 2013).

1.2.4. Capa de Aplicación

La flexibilidad de extremo a extremo será una de las características definitorias de las redes 5G. Esta flexibilidad resultará en gran parte de la introducción de la red basada en software donde el hardware de red central y las funciones de software están separadas. La red basada en software, a través de la virtualización funcional de la red (NFV, del inglés, *Network Function Virtualization*), la red definida por software (SDN, del inglés, *Software-Defined Networking*), particionamiento de red y cómputo en la nube para la red de acceso de radio (C-RAN, del inglés, *Cloud Radio Access Network*), tiene como objetivo aumentar tanto el ritmo de innovación como el ritmo al que las redes móviles pueden transformarse (IEEE, 2013).

En la siguiente gráfica se muestra las principales partes de la capa de aplicación de interconexión en 5G y su presencia en cada tramo de la arquitectura de 5G:

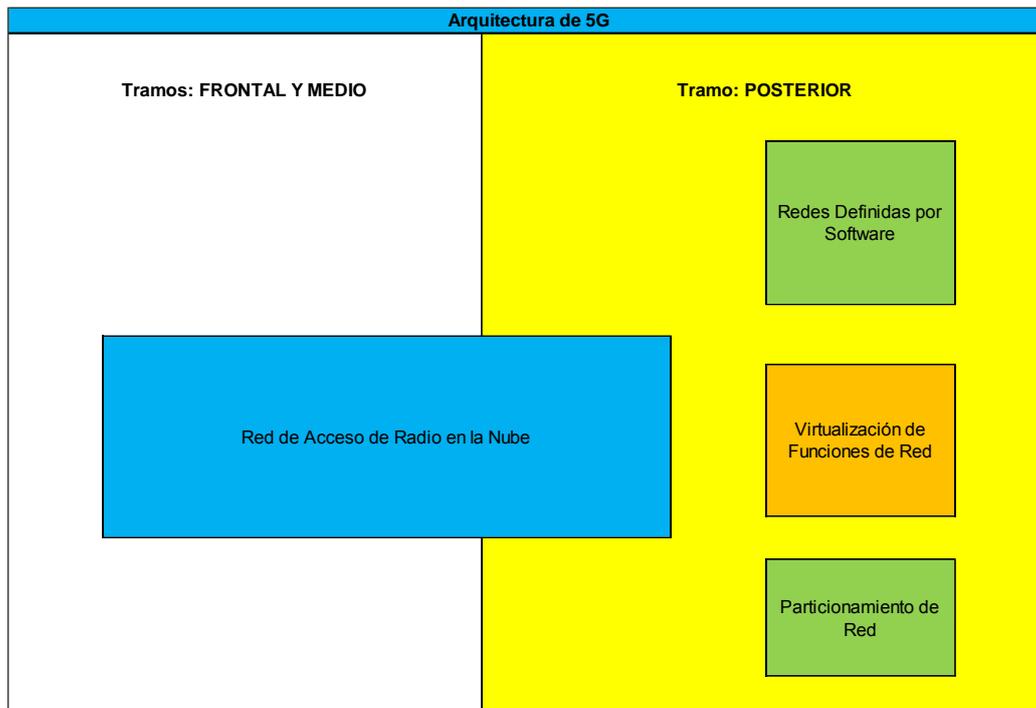


Figura 7. Capa de Aplicación de 5G.

Adaptado de (Endeavor, 2019).

La capa de aplicación está compuesta por:

- **Virtualización de Funciones de Red (NFV, del inglés, *Network Function Virtualization*)**. Este elemento reemplaza las funciones de red en dispositivos dedicados, como enrutadores, balanceadores de carga y elementos de seguridad de red como por ejemplo un cortafuegos (en inglés, *firewall*), con instancias virtualizadas que se ejecutan en hardware comercial estándar, lo que reduce el costo de los cambios y actualizaciones de la red (IEEE, 2013).
- **Redes Definidas por Software (SDN, del inglés, *Software-Defined Networking*)**. Esta capacidad permite la reconfiguración dinámica de los elementos de la red en tiempo real, permitiendo que las redes 5G sean

controladas por software en lugar de hardware, mejorando la capacidad de adaptativa de la red, el rendimiento y la calidad del servicio (IEEE, 2013).

- **Segmentación de Red (en inglés, *Network Slicing*)**. La segmentación de red permite que una red física se separe en múltiples redes virtuales (segmentos lógicos) que pueden admitir diferentes redes de acceso o varios tipos de servicios para ciertos segmentos de clientes, lo que reduce en gran medida los costos de construcción de la red mediante el uso de canales de comunicación de manera más eficiente (IEEE, 2013).
- **Cómputo en la Nube para la Red de Acceso de Radio (C-RAN, del inglés, *Cloud Radio Access Network*)**. Este nuevo elemento se presenta como una tecnología disruptiva clave, vital para la realización de redes 5G. Es una arquitectura de red de radio basada en la nube que utiliza técnicas de virtualización combinadas con unidades de procesamiento centralizadas, reemplazando las unidades de procesamiento de señales distribuidas en estaciones base móviles y reduciendo el costo de desplegar redes móviles densas basadas en celdas pequeñas (IEEE, 2013).

El cómputo en el borde de la red es cada vez más importante para aplicaciones en tiempo real y las que son muy sensibles a la latencia. Cómputo en el Borde de la Red (en inglés, *Edge Computing*) acerca los datos a los dispositivos de los usuarios finales, proporcionando potencia informática con muy baja latencia para aplicaciones exigentes. Esto acelera la entrega de datos procesables, reduce los costos de transporte y optimiza las rutas de tráfico (IEEE, 2013).

2. Capítulo II. Hiperconvergencia sobre 5G

En esta sección se analiza cómo se pasa de la infraestructura tradicional a la hiperconvergente en el núcleo de la red y los principales elementos de la infraestructura hiperconvergente.

En la Figura 8 se observa el cambio que ha experimentado el núcleo de la red desde el modelo de infraestructura tradicional hasta el modelo de Infraestructura Hiperconvergente.

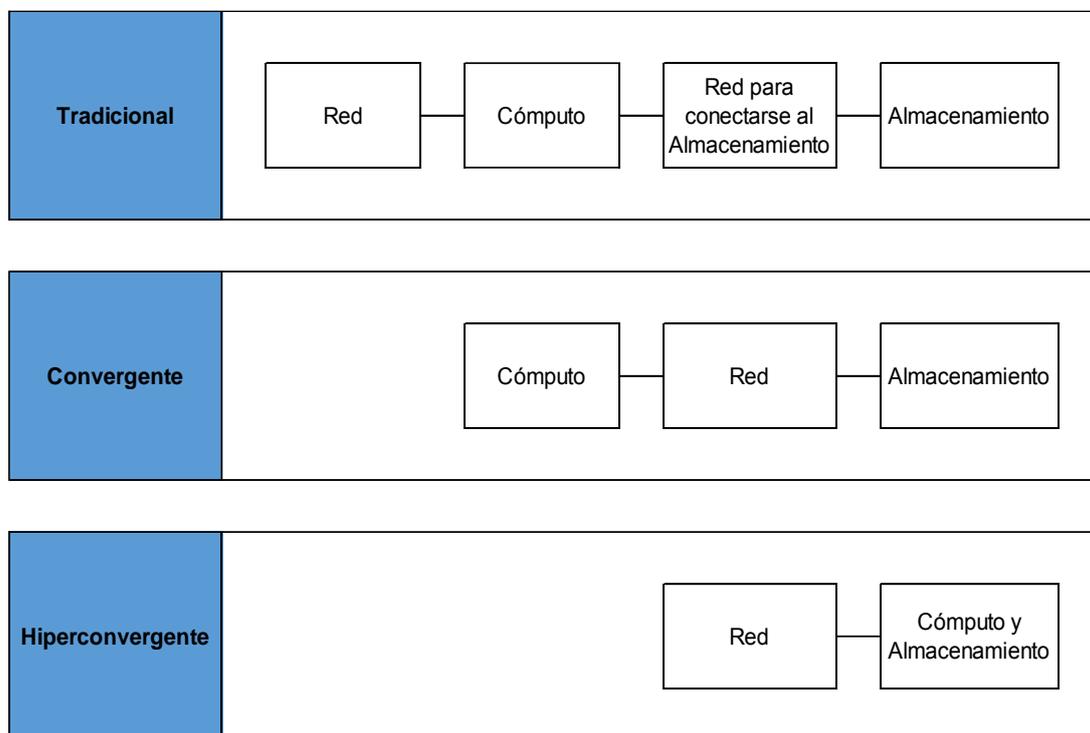


Figura 8. Evolución de la red de Núcleo hacia la Hiperconvergencia.

Adaptado de (MicroAge, 2019).

2.1. Diferencia entre Convergencia e Hiperconvergencia en el Núcleo de la Red (en inglés, Core)

En esta sección se analiza el paso de convergencia a hiperconvergencia.

Como se muestra en la Figura 9, la principal diferencia entre Convergencia e Hiperconvergencia es que en la Hiperconvergencia el Cómputo y el Almacenamiento están integradas y esto se soporta sobre la red (MicroAge, 2019).

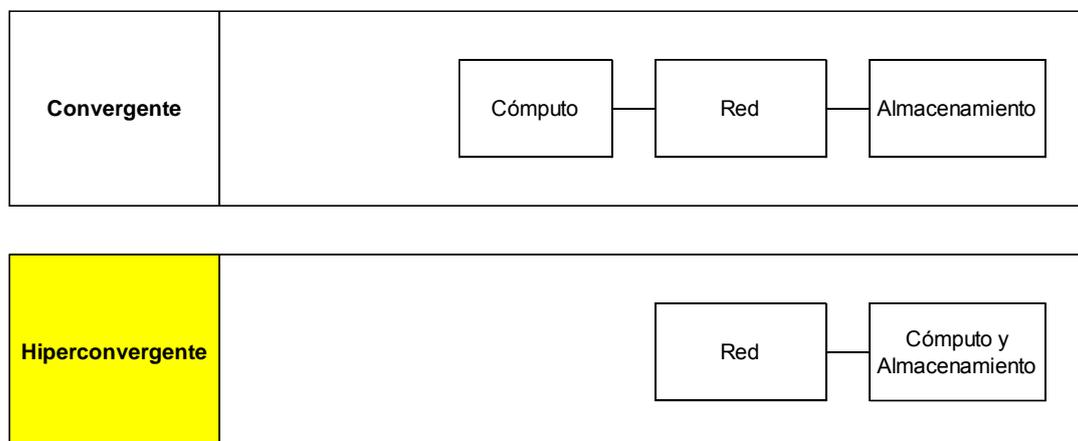


Figura 9. Diferencia entre Convergencia e Hiperconvergencia en la red de núcleo.

Adaptado de (MicroAge, 2019).

Hiperconvergencia unifica infraestructura de red de alto nivel montada en fábrica y tecnología de cómputo y almacenamiento en un chasis y plataforma de alto rendimiento, además brinda fácil escalabilidad y simplicidad cuando se presenta mayor demanda de la capacidad del sistema (CISCO, 2019).

2.2. Aplicación de Hiperconvergencia sobre 5G

En esta sección se explica como la hiperconvergencia es aplicada en la red de 5G con respecto a los planos de control y de servicio.

En la Figura 10 se observa el alcance de Hiperconvergencia en 5G. En el bloque de Cómputo en el Borde la Red para Múltiple Acceso se aplica Hiperconvergencia (Cómputo y Almacenamiento), en el núcleo de la red está el Hipervisor para gestionar los recursos virtualizados de los dominios del Plano de Control y del Plano de Datos (ECI, 2018). El Hipervisor es el programa que gestiona sistemas virtuales y que además permite interactuar directamente con el hardware subyacente (NovaStor, 2019); el dominio del hipervisor se extiende desde el núcleo de la red hacia la red de acceso de radio para tomar administrar los recursos del plano de control y de datos. El usuario final accede al plano de datos a través de la red de acceso de radio, luego pasa al elemento de Cómputo en el Borde de la Red para poder conectarse a los servicios que están en el núcleo de la red. El dominio del plano de control se extiende desde la red de acceso de radio a través del elemento de Cómputo en el Borde de la Red para Múltiple Acceso hasta el núcleo de la red.

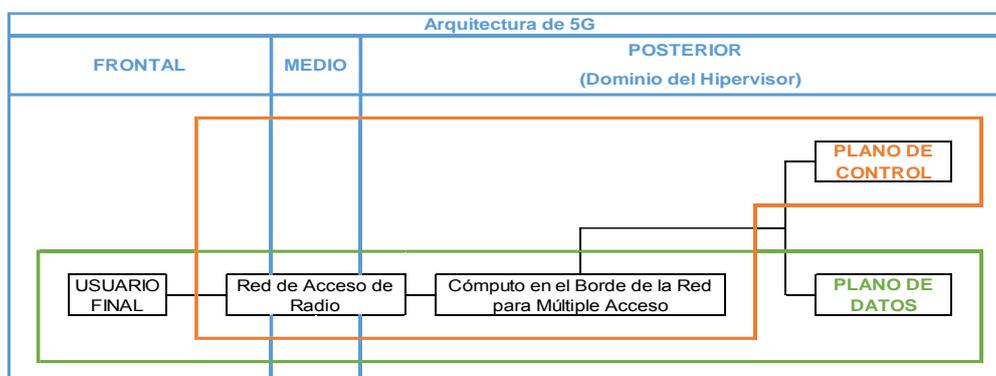


Figura 10. Alcance de la Hiperconvergencia en 5G.

Adaptado de (ECI, 2018).

3. Capítulo III. Elementos Clave de Hiperconvergencia sobre 5G y su Potencial

En esta sección se analizará cada uno de los elementos clave de hiperconvergencia (cómputo, almacenamiento, red y virtualización) sobre 5G.

En la siguiente gráfica se muestra los elementos clave de la hiperconvergencia aplicados en el tramo posterior de la arquitectura de 5G. Los elementos clave de hiperconvergencia están presentes desde el bloque de Cómputo en el Borde de la Red hasta el Núcleo de la Red. Los dominios del plano de control y del plano de datos son ambientes separados (particionados) virtualmente.

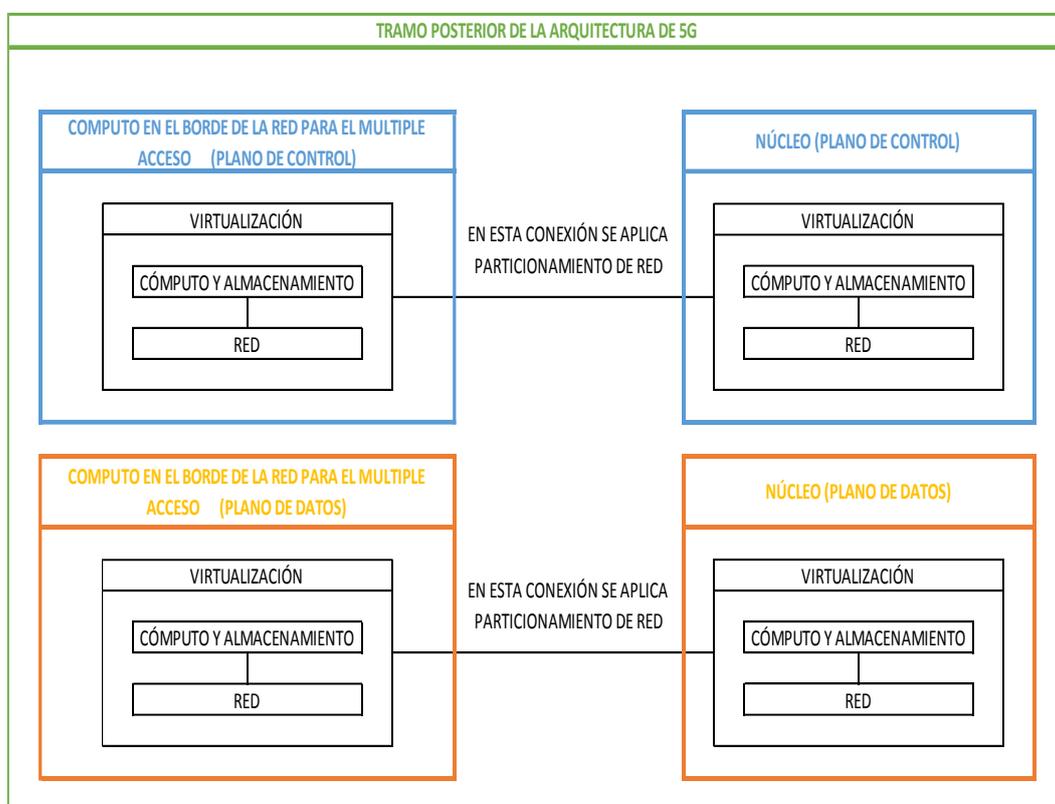


Figura 11. Elementos Clave de Hiperconvergencia en 5G.

Adaptado de (ECI, 2018).

3.1. Cómputo y Almacenamiento

CÓMPUTO es una infraestructura distribuida que cuenta con la capacidad de adaptarse más rápido a la demanda de recursos informáticos orientados a Internet y procesos aplicación-servidor sin requerir espacio físico adicional, ventilación o energía eléctrica. Este tipo de cómputo se caracteriza por estandarización, automatización, redundancia, cómputo de alto rendimiento y alta disponibilidad (TechTarget, 2019).

ALMACENAMIENTO es una infraestructura que brinda mayor control sobre el aprovisionamiento en un entorno de servidor virtual. Además, conecta nodos de almacenamiento escalando horizontalmente, creando de esta forma una infraestructura de almacenamiento distribuido donde los Componentes de Almacenamiento de Conexión Directa de cada servidor físico se combinan para crear un grupo lógico de capacidad de disco (TechTarget, 2019).

3.2. Red Hiperconvergente

La red hiperconvergente combina recursos de cómputo y almacenamiento en único bloque preconfigurado con alto uso de virtualización. Esta red se basa en hardware de servidor que utiliza almacenamiento virtualizado, unificando los discos en un único bloque de almacenamiento. (TechTarget, 2019).

3.3. Virtualización

Esta herramienta permite crear algo intangible basándose en algo tangible a través de un hipervisor, por ejemplo se pueden crear máquinas virtuales,

elementos virtuales de almacenamiento o recursos de red (ejemplo: un enrutador o un conmutador virtual). La virtualización permite ejecutar múltiples sistemas operativos, más de un sistema virtual y varias aplicaciones sobre un solo servidor. Los beneficios de virtualizar son por ejemplo mayor eficiencia, economías de escala y rápida liberación e implementación de recursos. (TechTarget, 2019).

3.4. Potencial de cada elemento de hiperconvergencia

- **Red Consciente de los Datos (DAN, del inglés, *Data-Aware Network*).** Permite que los usuarios distribuyan objetos de datos con identificador (NDO, del inglés, *Named Data Object*) en la red y los recuperen de manera eficiente y adaptativa (ITU, 2017).

En la Figura 12 se explica cómo opera DAN en el manejo de datos. El círculo 1, señala como un usuario hace un requerimiento de objeto de datos y es enrutado al proveedor de dicho objeto de datos. Mientras el objeto de datos es descargado por el usuario, al mismo tiempo se almacena en los elementos DAN que enrutaron el requerimiento; con esto el contenido queda más cerca del usuario. El círculo 2, señala a un usuario requiriendo el objeto de datos del caso anterior; ahora el objeto de datos está más cerca de los usuarios y ya no es necesario enrutar al proveedor porque el objeto de datos está almacenado en un elemento DAN cercano al nuevo usuario. El círculo 3, señala como un elemento DAN procesa un objeto de datos antes de enviarlo a un nuevo usuario en el formato más adecuado según la capacidad del terminal del usuario (ITU, 2017).

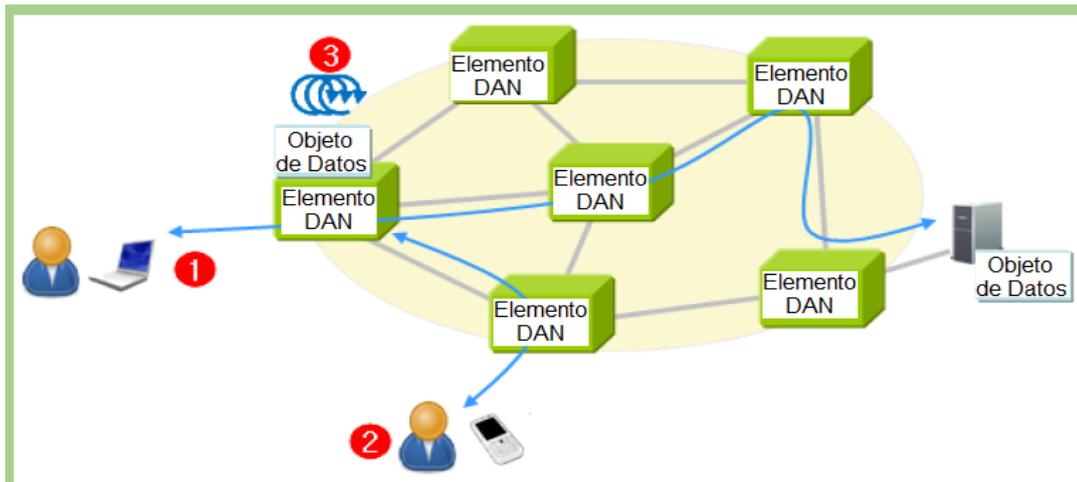


Figura 12. Operación de DAN.

Adaptado de (ITU, 2017).

- **Red Basada en Software (SDN, del inglés, *Software-Define Network*).**

La arquitectura SDN estándar que se muestra en la Figura 13 incluye cuatro componentes. Uno es el plano de control, que reside en un servidor. Las API que están en el extremo norte (sobre el controlador centralizado) permiten que las aplicaciones y la red se comuniquen. Los agentes en los dispositivos de red satisfacen las solicitudes del controlador. Finalmente, “OpenFlow” es el protocolo de capa 2 que permite al controlador acceder al plano de paso de los equipos de red sean físicos o virtuales (Cisco, 2019).

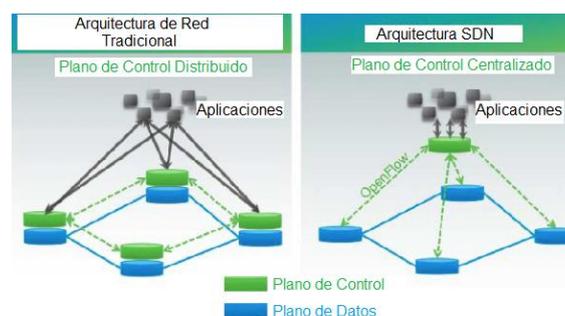


Figura 13. Diferencia entre las Arquitecturas de Red Tradicional y SDN.

Adaptado de (Cisco, 2019).

- **Virtualización de Funciones de Red (NFV, del inglés, *Network Functions Virtualization*).**

En la siguiente gráfica se muestra las partes principales de la virtualización de funciones de red (gestión y orquestación, funciones de red virtualizadas e infraestructura):

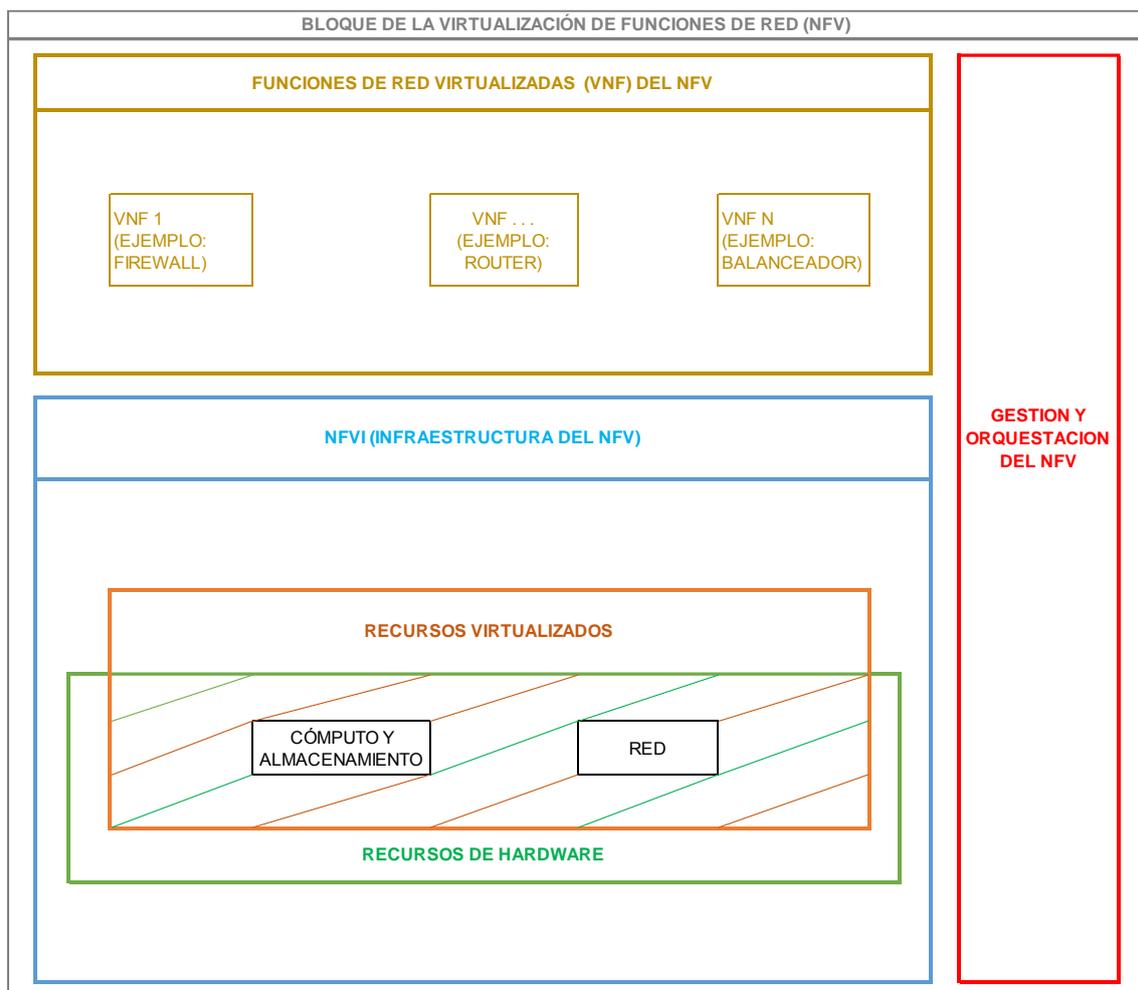


Figura 14. Estructura de NFV.

Adaptado de (DPNM, 2016).

La virtualización de funciones de red se refiere al marco operativo para dirigir y automatizar dispositivos de software llamados función de red virtualizada (VNF, del inglés, *Virtual Network Function*) en infraestructura virtualizada sobre hardware de dispositivos comerciales estándar (COTS, del inglés, *Commercial Off-The-Shelf*), y luego administrar dispositivos VNF a través de su ciclo de vida de extremo a extremo. NFV se basa en principios de redes SDN que separan las operaciones de red en el plano del usuario, el plano de control y los planos de gestión y dirección de red (MANO, del inglés, *Management And Network Orchestration*) (A10 Networks, 2019).

Función de Red Virtualizada (VNF, del inglés, *Virtual Network Function*) comúnmente se refiere a la forma de software de dispositivos de red como un enrutador, cortafuegos, balanceador de carga, etc. Los VNF se implementan principalmente como máquinas virtuales (VM) en hipervisores como el “KVM” de Linux o en VMware el “vSphere” para hardware comercial estándar (COTS) (A10 Networks, 2019).

- **Segmentación de Red (en inglés *Network Slicing*).**

En esta sección se analizará los segmentos de red que se crean sobre la red 5G con el propósito de mejorar la experiencia del usuario y darle la importancia que merecen las aplicaciones críticas.

En la siguiente gráfica se muestra cómo se aplica segmentación de red en 5G:

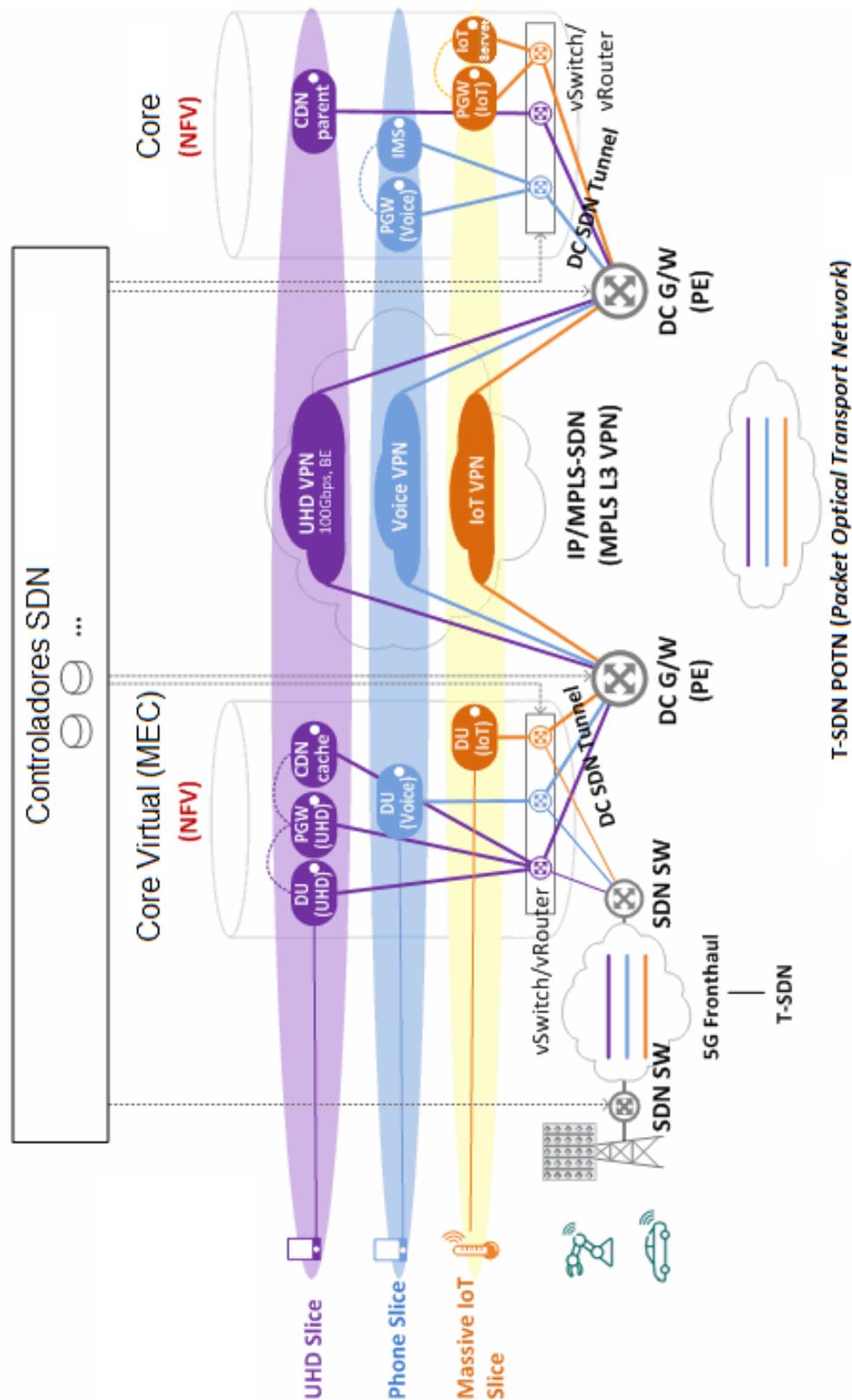


Figura 15. Aplicación de Segmentación de Red.

Adaptado de (NMC, 2018).

Se prevén 3 segmentos para la red 5G: banda ancha móvil mejorada, con alta capacidad y velocidades de gigabits por segundo; comunicaciones ultra confiables y de baja latencia; y comunicaciones masivas de tipo máquina para soportar Internet de las cosas (EXFO, 2019).

Segmentación de red (introducido en LTE, pero nunca completamente realizado en 4G) y nuevas arquitecturas de red son necesarias para permitir eficientemente casos de uso tan dispares dentro de una sola red. Cada segmento de la red utilizará algunos de los recursos compartidos de la red, desde la red de acceso de radio hasta el transporte dirigido por SDN al núcleo de la red, al tiempo que ofrece un servicio específico con un acuerdo de nivel de servicio determinado para una clase única de dispositivos o usuarios. Un elemento clave para hacer posible la segmentación de red en 5G es la capacidad de implementar y aprovisionar infraestructura que pueda ajustarse a la capacidad requerida y cumplir con el acuerdo de nivel de servicio (SLA, del inglés, *Service-Level Agreement*) para cada segmento de red. La nueva flexibilidad de las redes 5G centradas en software significa un aumento marcado en la complejidad para que los operadores aprovisionen, operen y supervisen el rendimiento de cada segmento. Los operadores habían venido manteniendo la visibilidad de sus redes al confiar en análisis de red pasivos para proporcionar indicadores claves de rendimiento (KPI, del inglés, *Key Performance Indicator*) básicos en un Centro de Operaciones de Red (NOC, del inglés, *Network Operations Center*), pero para la segmentación de red en 5G, se requiere un cambio en la estrategia de operaciones. A medida que los operadores de red móvil aumentan su enfoque en la monetización de sus redes a través de nuevos servicios, también deben evolucionar sus operaciones del NOC tradicional a múltiples centros de operaciones de servicio con un enfoque en servicios individuales (segmentos), sus requisitos y rendimiento en tiempo real. En una red 5G de segmentos, se necesita un enfoque proactivo e integral de la visibilidad, con inteligencia artificial que correlacione los datos de análisis (virtual y físico) activos y detecte anomalías y problemas de servicio desde la capa 1 hasta la capa de aplicación y proporcione análisis de bucle y resolución de problemas (EXFO, 2019).

4. Capítulo IV. Ventajas y Desventajas de Hiperconvergencia en 5G

4.1. Ventajas

Costos más bajos. La integración de componentes en una plataforma reduce la huella de almacenamiento, el uso de energía, los costos de mantenimiento y el costo total de propiedad (TCO, del inglés, *Total Cost of Ownership*). Los sistemas hiperconvergentes eliminan la necesidad de sobreaprovisionamiento para acomodar el crecimiento y ayudan a los centros de datos a escalar en pasos pequeños y fáciles de administrar (Cisco, 2019).

VMware presenta el caso de la empresa ACI Specialty Benefits donde Ryan Fay es Director de Tecnologías de la Información (CIO, del inglés, *Chief Information Officer*) y aplicó infraestructura hiperconvergente (HCI, del inglés, *Hyper-Converged Infrastructure*) con éxito. En la entrevista que VMWare hace a Ryan Fay, Ryan comenta (VMWare, 2019):

- Se redujo en 30% el TCO.
- Se redujo en 20% la capacidad de gasto en capital (CAPEX, del inglés, *Capital Expense*) y gasto de operación (OPEX, del inglés, *Operating Expense*).
- Se redujo en 15% el tiempo para comercializar.

En 2018, un nodo de Hiperconvergencia de CISCO se cotizaba en aproximadamente 1600 USD (ver Anexo 1), mientras que en 2006 un Servidor de la marca Sun Microsystems se cotizaba en aproximadamente 6600 USD (ver Anexo 2); en base a esta comparación de precios si son razonable los comentarios del CIO de ACI Specialty Benefits. El cambio brusco en los costos de esta infraestructura se debe a: que la capacidad de datos que se maneja cada vez es mayor y al hablar de un equipo no flexible como lo es un servidor se debe

garantizar una capacidad muy considerable de manejo de datos y de ahí su alto costo, mientras que al hablar de infraestructura hiperconvergente se habla de una equipo totalmente flexible y escalable que busca enganchar la compra de más implementos para crecimiento y poder afrontar así los nuevos retos que plantean las nuevas redes; además, cada vez se tiende más a sistemas abiertos provocando la búsqueda de nuevas estrategias en la comercialización de equipos electrónicos.

En el sitio web de TechTarget se cita el comentario de Mark Breed (Gerente de Servicios de TI de la compañía WD-40) acerca de su experiencia con HCI aplicada en la compañía. WD-40 necesitaba actualizarse desde una red de área de almacenamiento anticuada y estaba buscando una forma más efectiva de administrar el cómputo y el almacenamiento. Mark es responsable del dispositivo de HCI que gestiona el tráfico a través de los dos centros de datos del WD-40 en Inglaterra y otros ocho sitios de oficinas en Europa. Mark comenta (TechTarget, 2019):

"Hemos visto una reducción del 40% en nuestros costos de energía y enfriamiento y ahora obtenemos tres veces la productividad" (TechTarget, 2019).

Este comentario que hace Mark, hace notar como el integrar infraestructura (hiperconvergencia aplicada) ayuda disminuyendo costos de capital y operación al bajar el Costo Total de Propiedad en lo que respecta a sistema eléctrico y de ventilación, así como contar con mayor velocidad de procesamiento de datos, mayor facilidad en la escalabilidad para el almacenamiento y cómputo inclusive para ambientes que operan bajo demanda instantánea.

Simplicidad, Agilidad y Escalabilidad. Los sistemas hiperconvergentes pueden implementarse en una fracción del tiempo en comparación con la

infraestructura de TI tradicional. Y no hay necesidad de especialistas en TI para cada área de recursos. Además, la automatización hace que la administración sea simple, dando al personal y a los administradores más tiempo para concentrarse en iniciativas estratégicas. HCI escala fácilmente. Se pueden agregar recursos adicionales simplemente conectando un nuevo nodo al clúster. Además, con algunos sistemas hiperconvergentes, puede escalar el procesamiento y el almacenamiento por separado. Los nuevos recursos virtuales se identifican e integran automáticamente en el clúster (Cisco, 2019).

VMWare presenta su propia experiencia al adoptar HCI; el desarrollo de productos de VMware enfrenta los mismos desafíos que otras tiendas de desarrollo: brindar a los desarrolladores un acceso fácil a los entornos para que puedan construir y probar el código. VMWare abordó este problema mediante el uso de una plataforma virtualizada de infraestructura como servicio (IaaS, del inglés, *Infrastructure as a Service*), una nube privada interna construida por sus ingenieros para organizar implementaciones de construcción continuas para el desarrollo, las pruebas, el control de calidad y otras actividades. Anteriormente, las restricciones de capacidad en los números de unidades lógicas (LUN, del inglés, *Logical Unit Numbers*) dificultaban la ejecución de las configuraciones. Las configuraciones de almacenamiento fueron personalizadas para cada proyecto. Ahora la Red del Área de Almacenamiento Virtual (vSAN, del inglés, *virtual Storage Area Network*) ofrece el espacio agregado completo de todo el clúster. Esto ofrece mucha más flexibilidad a los usuarios, ya que ahora pueden acceder a los recursos de almacenamiento que necesitan. La plataforma IaaS de VMWare se basa en un modelo de autoservicio. Los desarrolladores pueden seleccionar e implementar rápidamente configuraciones directamente desde el repositorio de compilación. Las configuraciones pueden ser tan pequeñas como una sola máquina virtual (VM, del inglés, *Virtual Machine*) o tan grandes como un grupo completo de hosts para la prueba del sistema. Al ejecutar la configuración en vSAN, los desarrolladores pueden implementar VM a pedido de manera rápida y fácil. vSAN ha ayudado a eliminar la infraestructura como un cuello de botella y ha aliviado la carga de gestión de la capacidad. Actualmente,

para VMWare la huella de vSAN incluye más de 33,800 máquinas virtuales y 12.3 PB de capacidad de vSAN provisionados. Este crecimiento solo fue posible gracias a la capacidad comprobada de vSAN de soportar sistemas altamente críticos en entornos de producción grandes. Al implementar las primeras versiones de vSAN en entornos de HCI grandes, TI puede identificar problemas que el área de Investigación y Desarrollo puede solucionar antes de que el producto sea lanzado en general. Esto ayuda a sus clientes a confiar en el uso de vSAN en sus implementaciones a gran escala (VMWare, 2019).

4.2. Desventajas

Costos de licencia. Las organizaciones deben pagar tarifas adicionales para acceder a licencias que permitirán explotar al máximo las características disponibles en un equipo y acceder así a más funcionalidades y mayor capacidad de operación. Si la licencia del sistema operativo es por núcleo y TI quiere agregar almacenamiento, pero también tiene que tomar unidades centrales de procesamiento, esas tarifas de licencia aumentan repentinamente. Lo mismo puede decirse de las licencias de aplicaciones, que pueden cobrar ya sea por el núcleo o por el recurso total disponible en la forma en que lo hacen las aplicaciones de marco de operación. Otras aplicaciones esencialmente cobran por millón de instrucciones por segundo. Hay que tener cuidado con esto al escalar un sistema hiperconvergente. La gran mayoría de las cajas hiperconvergentes vienen con un software de administración de sistemas incorporado. Algunos proveedores solicitarán licencias adicionales con cargo cuando las organizaciones agreguen nuevos recursos, pero esta práctica es muy rara (TechTarget, 2019).

Compatibilidad de computación en la nube híbrida. Una nube híbrida requiere cargas de trabajo con sus respectivos sistemas de orquestación, aprovisionamiento y administración, para trabajar sin problemas y traspasar

fronteras. Al elegir un sistema hiperconvergente, hay que asegurarse de que la carga de trabajo y la movilidad operativa sean factibles sin inconvenientes. Se debe tener cuidado con los sistemas integrados altamente patentados que crean una plataforma que solo funciona bien entre sí y otros sistemas del mismo proveedor (TechTarget, 2019).

Inconvenientes con infraestructura de red. Uno de los inconvenientes que tiene hiperconvergencia en lo que respecta a infraestructura de red lo es consumo de puerto de red, algunos equipos de hiperconvergencia demandan de 4 y hasta 8 puerto de red por nodo de hiperconvergencia. En algunos casos el proveedor recomienda usar solo 2 puertos de red pero esto implica mezclar varios tipos de tráfico (ActualTech Media, 2020).

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El proveedor CISCO garantiza que se puede aplicar HCI en Portadores para Servicios de Red (en inglés, *Carriers*) de cualquier categoría (Tier I, II o III) (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino); esto garantiza total operatividad sin inconvenientes relacionados en lo que respecta a la conexión entre el Core de la red y el Borde de la red. Además, los competidores de CISCO como NUTANIX, brindan la misma característica de ser aplicable en todas las categorías de portador (SDxCentral, 2019).

HCI es aplicable en proveedores de servicios móviles, de servicios fijos y los que combinan ambos. (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino); esto porque si bien un operador que no provee servicios móviles (ejemplo: 5G) puede entrar ofreciendo servicios del Internet de las Cosas (IoT, del inglés *Internet of Things*) con acceso WiFi y otros tipos de acceso como WiMax. (Fuente: Ingeniero del Centro de Servicio Técnico – CenturyLink).

HCI involucra en su funcionamiento inteligencia artificial y aprendizaje de maquina (en inglés, *Machine Learning*) para poder aplicarlo en el cómputo de la red de núcleo y de borde y también en la elección de redes de acceso o de transporte (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino).

HCI nos permite actuar de manera rápida, precisa y sencilla para servicios bajo demanda, además de poder soportar demandas temporales de alta capacidad para luego ser desmontadas e implementadas en otros sitios (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino).

HCI aporta al mejoramiento de la experiencia del usuario final en lo que respecta al mejoramiento de tiempo de respuesta (latencia menor a 50 ms, aproximadamente 1ms), además se espera obtener en la práctica velocidades en el orden de los cientos de Mbps (El Universo, 2019).

En Ecuador: HCI ya se está aplicando en un proveedor de cobertura nacional de servicios móviles y fijos, y se espera el lanzamiento de 5G (aproximadamente para el año 2022) para aplicarlo también en este ambiente contribuyendo así a mejorar considerablemente la experiencia del usuario final (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino).

En la comunidad internacional: HCI ya está siendo aplicado en varias partes del mundo (América: U.S.A., Asia: China, Europa: Reino Unido, Alemania) y en los países que se han mencionado ya está implementado 5G y se espera su comercialización para el año 2020 (Fuente: Jefe de Ingenieros de Ventas de Cisco Systems Andino).

5.2. Recomendaciones

En la adquisición de equipos y servicios de HCI para 5G, se debe tener en cuenta la interoperabilidad que se tendrá con sistemas propietarios y sistemas abiertos, pero sin olvidar el considerar las condiciones y limitantes que tienen las licencias de los sistemas a operar.

Al implementar y adquirir equipamiento de HCI para 5G se debe tomar en cuenta que los elementos de cómputo, almacenamiento y red sean independientemente escalables para cubrir la demanda específica de los servicios de red y también dimensionar adecuadamente la capacidad de arranque de un punto de presencia

de red, pues así podremos aprovechar de mejor manera el potencial de los sistemas HCI y soportar de manera eficiente las aplicaciones.

Considerar las limitaciones y características propias de cada elemento de HCI con propósito específico (núcleo de la red o borde de la red), para implementar y adquirir los componentes necesarios de cada sistema y la aplicación que se le dará, así también considerar las capacidades y demandas en base al comportamiento de los ambientes donde están los usuarios finales.

Preferir elementos HCI con tecnología como *Fabric Interconnect* y *Fabric Extenders* de CISCO que poseen alta precisión de ensamblaje y tecnologías de conectividad óptica de alto rendimiento aplicadas al plano posterior principal de concentradores, además de altos estándares de conectividad, rendimiento y extensa vida útil nos brindan cableado estructurado interno en rack y extensiones para conexiones con otros sitio y elementos externos con el fin de garantizar óptimas condiciones para conectividad, capacidad de procesamiento y almacenamiento.

REFERENCIAS

- 20 Minutos. (2013). Samsung prueba con éxito la tecnología 5G con una velocidad de hasta 1 Gbps. Recuperado el 14 de abril de 2019 de <https://www.20minutos.es/noticia/1812442/0/samsung/tecnologia-5g/1-gbps/>
- A10 Networks. (2019). *What is NFV (Network Functions Virtualization) & VNF (Virtualized Network Functions)?* Recuperado el 10 diciembre de 2019 de <https://www.a10networks.com/blog/what-is-nfv-network-functions-virtualization-vnf-virtualized-network-functions/>
- ActualTech Media. (2019). *Hyperconverged Infrastructure Pros and Cons.* Recuperado el 12 de diciembre de 2019 de <https://www.hyperconverged.org/2018/06/27/hyperconvergence-pros-and-cons-2/>
- Blackboard. (2019). *Manville BOE – HyperFlex.* Recuperador el 11 de diciembre de 2019 de https://www.escnj.us/cms/lib/NJ02211024/Centricity/Domain/411/CISC-Manville_BOE_-_Hyperflex_-_090618-04.pdf
- CIENA. (2018). *5G Glossary of Terms.* Recuperado el 4 de noviembre de 2019 de <https://media.ciena.com/documents/5G-Glossary-of-Terms.pdf>
- CISCO. (2019). *SDN 101: What It Is, Why It Matters, and How to Do It.* Recuperado el 10 de diciembre de 2019 de <https://blogs.cisco.com/ciscoit/sdn-101-what-it-is-why-it-matters-and-how-to-do-it>
- CISCO. (2019). *What is Hyper Convergence?* Recuperado el 5 de agosto de 2019 de <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-hyperconverged-infrastructure.html>

- CISCO. (2019). *Cisco HyperFlex features*. Recuperado el 5 de agosto de 2019 de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/hyperconverged-infrastructure/index.html#~resources>
- DPNM Lab. (2016). *SDN/NFV and Open Networking Ecosystem*. Recuperado el 10 de diciembre de 2019 de <https://slideplayer.com/slide/11695523/>
- ECI. (2018). *Opening Up 5G RAN Development*. Recuperado el 28 de noviembre de 2019 de <https://blog.ecitele.com/opening-up-5g-ran-development>
- El Universo. (2018). Llegada de red 5G a Ecuador se definiría en el 2019. Recuperado el 14 de abril de 2019 de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/03/nota/6935777/llegada-5g-paise-definiria-2019>
- El Universo. (2019). Pruebas de tecnología 5G se exhiben en Quito. Recuperado el 13 de diciembre de 2019 de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/08/13/nota/7469088/demostraciones-5g-se-exhiben-quito>
- Elkhodr M., Hassan Q. y Shahrestani S. (2018). *Networks of the Future: Architectures, Technologies, and Implementations*. (1.^a ed.). Florida, USA: Publicaciones Chapman&Hall/CRC.
- Endeavor Business Media. (2019). *Building the Foundation for Cognitive Networking*. Recuperado el 12 de noviembre de 2019 de <https://www.lightwaveonline.com/network-automation/article/16673604/building-the-foundation-for-cognitive-networking>
- EXFO. (2019). *5G network slicing: unlocking its value*. Recuperado el 10 de diciembre de 2019 de https://www.exfo.com/en/resources/blog/5g-network-slicing-unlocking-value/?gclid=CjwKCAiAob3vBRAUEiwAlbs5TtVAjTsAk75xZbShopJwcDtziRd8bdqsEiJaVZwEoini63utsCd3WBoC_N0QAvD_BwE

- EXFO. (2019). *Remote Radio Unit*. Recuperado el 4 de noviembre de 2019 de <https://www.exfo.com/en/resources/glossary/remote-radio-unit/>
- IEEE. (2013). *5G Technology of Mobile Communication: A Survey*. Recuperado el 23 de octubre de 2019 de https://www.academia.edu/6443163/5G_Technology_of_Mobile_Communication_A_Survey?auto=download
- ITU. (2017). *5G Basics*. Recuperado el 14 de abril de 2019 de https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-1-PDF-E.pdf
- ITU. (2018). El enfoque de la UIT para 5G. Recuperado el 14 de abril de 2019 de <https://news.itu.int/5g-fifth-generation-mobile-technologies/>
- ITU. (2018). *Transport network support of IMT-2020/5G*. Recuperado el 23 de octubre de 2019 de https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2018-PDF-E.pdf
- MicroAge. (2019). *The Pros of Hyper Converged Infrastructure*. Recuperado el 27 de noviembre de 2019 de <https://microage.com/blog/the-pros-of-hyper-converged-infrastructure/>
- NMC. (2018). *E2E Network Slicing - Key 5G technology: What is it? Why do we need it? How do we implement it?* Recuperador el 10 de diciembre de 2019 de <https://www.netmanias.com/en/post/blog/8325/5g-iot-network-slicing-sdn-nfv/e2e-network-slicing-key-5g-technology-what-is-it-why-do-we-need-it-how-do-we-implement-it>
- NovaStor. (2019). *Virtualization Glossary of Terms You Should Know*. Recuperado el 27 de noviembre de 2019 de <https://www.novabackup.com/blog/virtualization-glossary-terms-know>
- PALO ALTO RESEARCH INC. (2013). *Architecture of future open wireless architecture (OWA) radio system*. Recuperado el 10 noviembre de 2019 de <https://patentimages.storage.googleapis.com/cf/0c/e4/4243ecb70777ec/US8498602.pdf>

- SDxCentral. (2019). *Nutanix Teams Up With Data Center Company Cyxtera for On-Demand HCI*. Recuperado el 13 de diciembre de 2019 de <https://www.sdxcentral.com/articles/news/nutanix-teams-up-with-data-center-company-cyxtera-for-on-demand-hci/2018/04/>
- Springer. (2015). *5G mobile terminals with advanced QoS-based user-centric aggregation (AQUA) for heterogeneous wireless and mobile networks*. Recuperado el 11 de noviembre de 2019 de <https://scihub.tw/https://doi.org/10.1007/s11276-015-1047-4>
- TechTarget. (2019). *Four disadvantages of hyper-converged infrastructure Systems*. Recuperado el 12 de diciembre de 2019 de <https://searchdatacenter.techtarget.com/tip/Four-disadvantages-of-hyper-converged-infrastructure-systems>
- TechTarget. (2019). *Hyperscale Computing*. Recuperado el 4 de diciembre de 2019 de <https://whatis.techtarget.com/definition/hyperscale-computing>
- TechTarget. (2019). *Hypeconverged Network*. Recuperado el 4 de diciembre de 2019 de <https://searchconvergedinfrastructure.techtarget.com/definition/hyper-converged-network>
- TechTarget. (2019). *Hypeconverged Storage*. Recuperado el 4 de diciembre de 2019 de <https://searchconvergedinfrastructure.techtarget.com/definition/hyper-converged-storage>
- TechTarget. (2019). *Virtualization*. Recuperado el 4 de diciembre de 2019 de <https://searchservervirtualization.techtarget.com/definition/virtualization>
- TPC. (2007). *Sun Microsystems Sun Fire™ X4100 Server Using ParAccel Analytic Database*. Recuperado el 13 de diciembre de 2019 de <http://c970058.r58.cf2.rackcdn.com/fdr/tpch/sunfire.x4100.tpch.paraccel.1000gb.fdr.pdf>

VMWare. (2019). *8 of the Biggest Benefits of Hyperconverged Infrastructure*.
Recuperado el 11 de diciembre de 2019 de
[https://www.vmware.com/radius/8-benefits-of-hyperconverged-
infrastructure/](https://www.vmware.com/radius/8-benefits-of-hyperconverged-infrastructure/)

ANEXOS

ANEXO 1

La factura que está a continuación, muestra la venta (en USD) de un nodo Cisco HyperFlex HX220c M5 (integra Cómputo, Almacenamiento y Red en Infraestructura Hiperconvergente).

NJ Office:		CDIO COMPUTER DESIGN & INTEGRATION		NY Office:	
696 Rt. 46 West, Teeterboro, NJ 07608 (800)234-5531				500 Fifth Avenue, Suite 1010, New York, NY 10110 (800)234-5531	
Manville BOE - Hyperflex					
Qty	Part No	Description	Unit List	Unit Sell	Extended Sell
3	HX220C-M5SX	Cisco HyperFlex HX220c M5 Node	\$ 4,568.00	\$ 1,586.91	\$ 4,780.73
6	HX-CPU-4108	1.8 GHz 4108/85W 8C/11MB Cache/DDR4 2400MHz	\$ 1,500.00	\$ 585.00	\$ 3,510.00
36	HX-MR-X19G1R5-H	16GB DDR4-2666-MHz RDIMM/PC4-21300(single rank)/4/1.2v	\$ 1,009.00	\$ 383.51	\$ 14,186.36
18	HX-HD12T810K12N	1.2 TB 12G SAS 10K RPM SFF HDD	\$ 1,533.00	\$ 597.87	\$ 10,781.86
3	HX-SD480G63X-EP	480GB 2.5in Enterprise Performance 6GSATA S8D(3X enduran	\$ 1,950.00	\$ 760.50	\$ 2,281.50
3	HX-SD240G61X-EV	240GB 2.5 inch Enterprise Value 6G SATA SSD	\$ 734.00	\$ 286.26	\$ 858.78
3	HX-M3-240GB	240GB SATA M.2	\$ 535.00	\$ 208.95	\$ 626.95
3	HX-MLCM-C40G-03	Cisco VIC 1307 Dual Port 40Gb QSFP CNA MLOM	\$ 2,192.00	\$ 854.88	\$ 2,594.64
6	HX-PSU1-1050W	Cisco UCS 1050W AC Power Supply for Rack Server	\$ 729.00	\$ 284.31	\$ 1,705.86
3	HX-MSD-32G	32GB Micro SD Card for UCS M5 servers	\$ 220.00	\$ 85.80	\$ 257.40
6	CAB-C13-C14-2M	Power Cord Jumper, C13-C14 Connectors, 2 Meter Length	\$ -	\$ -	\$ -
3	HX-RAILB-M4	Ball Bearing Rail Kit for C220 M4 and C240 M4 rack servers	\$ 220.00	\$ 85.80	\$ 257.40
6	UCSC-HS-C220M5	Heat sink for UCS C220 M5 rack servers 150W CPUs & below	\$ -	\$ -	\$ -
6	UCSC-BBLKD-S2	UCS C-Series M5 SFF drive blanking panel	\$ -	\$ -	\$ -
3	UCS-MSTOR-M2	Mini Storage carrier for M.2 SATA/NVME (holds up to 2)	\$ -	\$ -	\$ -
3	HX220C-B2L-M5	HX220C M5 Security Bezel	\$ -	\$ -	\$ -
3	HX-SAS-M5	Cisco 12G Modular SAS HBA (max 15 drives)	\$ 1,031.00	\$ 402.09	\$ 1,206.27
3	HX-VSP-FND-D	Factory Installed - vSphere SW (End user to provide License)	\$ -	\$ -	\$ -
3	HX-VSP-FND-DL	Factory Installed - VMware vSphere5 Fnd SW Download	\$ -	\$ -	\$ -
3	HXDP-S001-1YR=	Cisco HyperFlex Data Platform Standard Edition 1 Yr Subscrip	\$ -	\$ -	\$ -
3	HXDP-S001-1YR=	HyperFlex Data Platform Standard Edition 1 Yr Subscription	\$ 9,375.00	\$ 3,658.25	\$ 10,988.75
3	CON-SNT-220CM5SX	SNTC 8XSXNBD Cisco HyperFlex HX220c M5 Node	\$ 919.00	\$ 287.10	\$ 2,481.30
2	HX-FI-6332-16UP	UCS 6332-16UP 1RU FI/No PSU/24 QSFP+ 16UP/4x40G Lic/8x	\$ 56,000.00	\$ 21,840.00	\$ 43,680.00
2	N10-MGT015-HX	UCS Manager v3.2(1) for HyperFlex	\$ -	\$ -	\$ -
2	UCS-ACC-6332	UCS 6332/ 6454 Chassis Accessory Kit	\$ -	\$ -	\$ -
8	UCS-FAN-6332	UCS 6332/ 6454 Fan Module	\$ -	\$ -	\$ -
4	UCS-PSU-6332-AC	UCS 6332 Power Supply/100-240VAC	\$ 1,400.00	\$ 546.00	\$ 2,184.00
4	CAB-C13-C14-2M	Power Cord Jumper, C13-C14 Connectors, 2 Meter Length	\$ -	\$ -	\$ -
2	CON-SNT-FI633216	SNTC-8XSXNBD UCS 6332-16UP 1RU FI	\$ 1,582.00	\$ 1,432.80	\$ 2,885.60
6	QSFP-H40G-CU1M=	40GBASE-CR4 Passive Copper Cable, 1m	\$ 250.00	\$ 145.00	\$ 870.00
4	SFP-H10GB-CU3M=	10GBASE-CU SFP+ Cable 3 Meter	\$ 105.00	\$ 60.90	\$ 243.60

CDI INFORMATION			
Salesman:	Chris Clark	Quote ID:	CISC-Manville BOE - Hyperflex - 080818-04
Phone No:	(201) 425 - 9314	Quote Description:	Cisco
Email Add:	chris.clark@cdio.com	Quote Date:	09/06/2018
Prepared by:	Amy Rega	Exp Date:	12/28/2018
Fax No:	201-631-0101		

NOTES:
Pricing subject to change without advanced notice from the manufacturer. Restock fees will apply for any items returned. Returns must be made within 15 days of receipt of items unopened. CDI terms net 30 days. Shipping fees not included.
The information provided to you in this communication is regarded by Computer Design & Integration LLC to be Confidential and Proprietary information. This includes the description of the materials/products for sale, the prices quoted, and any description of consulting services to be performed by Computer Design & Integration LLC. This information shall not be disclosed or made available to any party unrelated to this agreement without our express written consent. You must also exercise reasonable care to protect this information from the unauthorized disclosure by others.

NASPO Value Point DataCom / New Jersey NVP #AR233 (14-19)
Participating Addendum contract la PA# A87720

Figura A1. Factura de la empresa CDI para la venta de un sistema HyperFlex de Cisco.
Tomado de (Blackboard Inc., 2019).

NJ Office:		CDIO		COMPUTER DESIGN & INTEGRATION, INC.		Cisco	
696 Rt. 46 West, Teterboro, NJ 07608 (800)234-5531		Manville BOE - Hyperflex		NY Office:		500 Fifth Avenue, Suite 1010, New York, NY 10110 (800)234-5531	
Qty	Part No	Description	Unit List	Unit Sell	Extended Sell		
3	HX220C-M5SX	Cisco HyperFlex HX220c M5 Node	\$ 4,069.00	\$ 1,566.81	\$ 4,780.73		

Figura A2. Ampliación que muestra el valor en USD de un “Cisco HyperFlex HX220c M5 Node” Tomado de (Blackboard Inc., 2019).

ANEXO 2

La factura que está a continuación, muestra la venta USD de un Servidor Sun Fire X4100; dicho servidor equivale a un nodo HyperFlex de Cisco.

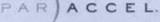
	Sun Fire™ X4100 Server with ParAccel Analytic Database™		TPC-H Rev. 2.6.0			
 			Report Date: Oct. 29, 2007 Revision Date: Nov. 8, 2007			
Description	Part Number	Source	Unit Price	Qty	Ext. Price	3 Yr. maint
Server Hardware						
SunFire X4100 M2 x54 Server						
2 X AMD Opteron Model 2220 (2.8GHz) processor						
4 X 2GB DDR2-667 Memory						
2 X 145 GB HDD						
	AB6FP2ZBHBG8BA	2	6,590.00	48	315,320.00	
4 GB Memory Kit DDR2-667 DIMMS (2 X 2GB) for SunFire X4100 M2						
	420BA-Z	2	750.00	96	72,000.00	
Server Discount (14%)						
		2			-54,364.80	
SunFire X4100 M2 Server upgrade to 3 years.						
24x7 hardware only support with 4 hour response						
	WID-487-24-3H	2	792.00	48	38,016.00	
Support Discount (10%)						
		2			-3,801.60	
Cisco Catalyst 3750-24TS 24-port switch						
	WS-C3750-24TS-E	2	5,990.00	4	23,960.00	
3750 Discount						
		2	-2,239.47	4	-8,957.88	
Cisco Catalyst 3750-24TS 24-port switch 1 year premium service						
	CON-OSP-375024TE	2	1,056.00	12	12,072.00	
3750 Support Discount						
		2	-111.76	12	-1,341.36	
Ethernet 100Base-TX cable						
	AXL701-05-GRN	2	5.99	96	575.04	
Cable discount						
		2	-1.13	96	-108.48	
APC Smart-UPS 3000VA USB						
	592679	3	1,162.99	10	11,629.90	
1 Year PC/Peripheral Extended Service \$701-51200						
	54439	3	53.99	30	1,619.7	
Server Hardware Subtotal					361,253.78	46,564.74
External Storage						
None						
Server Software						
ParAccel Analytic Database, per GB data						
	PAR-ADB	1	1,000.00	1000	1,000,000.00	
ParAccel Support \$10 per Gb data per year						
	PAR-SUP-B	1	10.00	1000	30,000.00	
ParAccel Discount 10%						
		1			-100,000.00	-3,000.00
RHEL 4.4 24x7 Support per node 3 years (up to 2 sockets)						
		2	3,702.00	48	177,696.00	
RHEL Discount						
		2	-1,468.00	48	-70,464.00	
Server Software Subtotal					900,000.00	134,232.00
Total					1,261,253.78	180,796.74
3 Yr. Cost					1,442,050.52	
QpH @1000GB					315,842.9	
\$/QpH @1000GB					\$4.57	
Service for Sun products from Sun Microsystems, Inc. Service for ParAccel products is from ParAccel, Inc. Service for RHEL is from Red Hat Inc. Service for APC Smart-UPS is from cdw.com						
Sources						
1. ParAccel, Inc.						
2. Continental Resources, Inc.						
3. cdw.com						
Audited by: Francois Raab, InfoSizing, Inc. (www.sizing.com)						
Prices used in TPC benchmarks reflect the actual prices a customer would pay for a one-time purchase of the standard components. Individually negotiated discounts are not permitted. Special prices based on assumptions about past or future purchase are not permitted. All discounts reflect standard pricing policies for the listed components. For complete details, see the pricing sections of the TPC benchmark specifications. If you find that the stated prices are not available according to these terms, please inform the TPC at pricing@tpc.org. Thank you.						

Figura B1. Factura de la empresa TPC para la venta de un servidor Sun Fire X4100.

Tomado de (TPC, 2007).

 <p>PAR) A C C E L.</p>	<p>Sun Fire™ X4100 Server with ParAccel Analytic Database™</p>	<p>TPC-H Rev. 2.6.0</p> <p>Report Date: Oct. 29, 2007 Revision Date: Nov. 8, 2007</p>
<p>Description</p> <p>Server Hardware</p> <p>SunFire X4100 MD x64 Server 2 X AMD Opteron Model Z220 (2.8GHz) processor 4 X 2GB DDR2-667 Memory 2 X 146 GB HDD</p>	<p>Part Number Source Unit Price Qty Ext. Price 3 Yr. maint</p> <p>A86-FPZ2BH8GKBA 6,590.00 48 315,320.00</p>	

Figura B2. Ampliación que muestra el valor en USD de un servidor “Sun Fire X4100”
Tomado de (TPC, 2007).

