

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica y electrónica**



TESIS

**Propuesta del Diseño de la Red Nacional de Investigación y  
Educación para su conexión a Redes Avanzadas**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

Elaborado por

Beau Hilario Flores Atoche

 [0009-0008-6331-3860](https://orcid.org/0009-0008-6331-3860)

Asesor

M.Sc. Ing. Marcial Antonio López Tafur

 [0000-0002-9818-5730](https://orcid.org/0000-0002-9818-5730)

LIMA – PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	Flores Atoche [1]
Referencia/Reference	[1] B. Flores Atoche, " <i>Propuesta del Diseño de la Red Nacional de Investigación y Educación para su conexión a Redes Avanzadas</i> " [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Flores, 2023)
Referencia/Reference	Flores, B. (2023). <i>Propuesta del Diseño de la Red Nacional de Investigación y Educación para su conexión a Redes Avanzadas</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

***Dedicatoria***

*A mi Alma Mater que me formó de manera integral,  
solidificando mis valores éticos, morales y humanistas,  
siendo mi segundo hogar.*

## **Agradecimientos**

A todos los docentes que me inculcaron el análisis, la comprensión y la adquisición de conocimiento a partir de la información que nos impartían en cada una de sus clases magistrales, proporcionándonos sus experiencias como parte de sus enseñanzas; especialmente a los docentes que perduran en mi memoria, como es el caso de Celestina Peña, Lourdes Kala, Feliz Navarro, José Obregón, Edgar Salas, Humberto Asmat, Mario Dávila, Juan Tisza, Miguel Ángel Martino, Marcial López, Heiner López, Jorge Kuong, Abel Castañeda, Carlos Sánchez, Frans Peralta, Jorge Menacho, Fermín Cabezas, Percy Fernández, David Apaza, Carlos Vivas, Carlos Medina, Manuel Márquez, en otros.

A mi familia que contribuyó con su apoyo permanente para lograr culminar mis estudios, especialmente a mis señores padres y mi hermana Nelly Lucía.

Y por siempre agradecido a los colegas que siempre se preocuparon por hacer realidad este trabajo, especialmente a mi asesor Msc. Ing. Marcial López Tafur.

Al amor de mi vida, mi compañera única e irremplazable.

## Resumen

En la presente tesis se desarrolla una propuesta que cristaliza el funcionamiento de la Red Nacional de Investigación y Educación – RNIE, desarrolla el diseño de una arquitectura que permita ser el soporte de la Red Avanzada del país, para su interconexión a las redes avanzadas de América Latina y el mundo, siendo a su vez parte de la Red Nacional Estatal – REDNACE.

La propuesta incluye:

- Análisis situacional de las Redes Avanzadas en Latinoamérica y el mundo.
- Infraestructura de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica del Estado Peruano.
- Diseño de la Estructura de la Red Nacional de Investigación y Educación - RNIE, mediante la infraestructura existente y la permitida según la legislación vigente.
- Propuesta de las características técnicas de la red, su despliegue nacional e integración con las redes utilizadas a nivel continental y del mundo por el sector académico, científico y de investigación.
- Simulación del diseño propuesto, en plataforma de software libre, uso de simuladores y emuladores de libre disponibilidad.
- Análisis de los datos obtenidos en la simulación que permitan comprobar la solidez y calidad de la arquitectura propuesta para su oportuna y necesaria implementación.
- Consideraciones requeridas para su implementación y su operación y mantenimiento.

También se describe sucintamente el soporte tecnológico y las técnicas asociadas que son imprescindibles para concretar la propuesta que posicione a la RNIE como una red avanzada con las modernas tecnologías de transmisión y comunicación.

Palabras clave: Redes Avanzadas, Red Nacional de Investigación y Educación, RNIE, RDNFO.

## Abstract

The development of a proposal that crystallizes the operation of the National Research and Education Network – RNIE, is described in this Thesis work, developing the design of an architecture that allows it to be the support of the country's Advanced Network, for its interconnection. to the advanced networks of Latin America and the world, being at the same time part of the National State Network – REDNACE.

The proposal includes:

- Situational analysis of Advanced Networks in Latin America and the world.
- Infrastructure of the Peruvian State Fiber Optic Backbone Network.
- Design of the Structure of the National Research and Education Network - RNIE, using the existing infrastructure and that permitted according to current legislation.
- Proposal of the technical characteristics of the Data Network, deployment at the national level, and integration with the networks used at the continental and world level by the academic, scientific and research sector.
- Simulation of the proposed design, on a free software platform, using freely available simulators and emulators.
- Analysis of the data obtained in the simulation to verify the solidity and quality of the proposed architecture for its timely and necessary implementation.
- Considerations required for implementation and its operation and maintenance.

The technological support and associated techniques that are essential to specify the proposal that positions the RNIE as an advanced network with modern transmission and communication technologies are also succinctly described.

Keywords — Advanced Networks, National Research and Education Network, RNIE, RDNFO

## Tabla de Contenido

	Pág.
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO .....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivos del estudio .....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Antecedentes investigativos .....	4
CAPÍTULO II. MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	6
2.1 Marco teórico .....	6
2.1.1 Redes.....	7
2.1.2 Redes avanzadas.....	9
2.1.3 Protocolos IPv6 .....	10
2.1.4 Redes definidas por software .....	12
2.2 Marco conceptual.....	15
2.2.1 Redes avanzadas en funcionamiento.....	18
2.2.2 Red dorsal nacional de fibra óptica.....	26
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN .....	28
3.1 Análisis de las necesidades .....	28
3.2 Situación actual... ..	28
3.3 Proyecciones estimadas... ..	30

3.4	Infraestructura disponible.....	32
3.5	Propuesta de solución... ..	33
3.6	Diseño de la solución.....	35
3.6.1	Arquitectura de la solución.....	37
3.6.2	Numeración y configuración IPv6.....	41
3.6.3	Configuración red SDN.....	45
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		71
4.1	Análisis de datos obtenidos.....	71
4.1.1	Mininet .....	71
4.1.2	Wireshark.....	72
4.1.3	RYU .....	73
4.1.4	Flowmanager de RYU .....	73
4.1.5	OpenDayLight .....	74
4.2	Resultados .....	74
4.3	Equipos, instalación y operación .....	74
CONCLUSIONES.....		78
RECOMENDACIONES .....		79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		80

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Principales características de los protocolos IP.....	10
Tabla 2: Formato de las unicast global de direccionamiento IPv6.....	12
Tabla 3: Indicadores de REDNACE.....	26
Tabla 4: Capacidad contratada de la RDNFO, por empresas.....	27
Tabla 5: Plan de direccionamiento IPv6.....	42
Tabla 6: Direcciones IPv6 – Universidades Públicas.....	44
Tabla 7: Direcciones IPv6 – Institutos de Investigación.....	45
Tabla 8: Direcciones IPv6 de Universidades para el simulador.....	61
Tabla 9: Equipamiento requerido.....	75
Tabla 10: Costos mensual de O&M de la RNIE.....	77
Tabla 11: Gastos actuales de universidades públicas de acceso a Internet.....	77

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Arquitectura SDN y sus componentes... ..	14
Figura 2: Topología de Internet2.....	19
Figura 3: Despliegue de la Red GÉANT... ..	20
Figura 4: Backbone de la Red APAN-JP.....	21
Figura 5: Red de UbuntuNet Alliance.....	22
Figura 6: Topología RedCLARA.....	22
Figura 7: Topología de la Red RNP.....	23
Figura 8: Backbone de la Red CUDI.....	24
Figura 9: Red Troncal RENATA.....	25
Figura 10: Infraestructura digital de REUNA.....	25
Figura 11: Distribución, por región, de universidades licenciadas por SUNEDU...29	
Figura 12: Total de Investigadores según RENACYT... ..	30
Figura 13: Distribución de universidades públicas por región, según SUNEDU... 31	
Figura 14: Subvenciones por entidades ejecutoras, según CONCYTEC....	31
Figura 15: Estructura de la RDNFO.....	32
Figura 16: Estructura actual de la RDNFO y Redes Regionales.....	33
Figura 17: Topología propuesta de la RNIE.....	39
Figura 18: Topología SDN para la RNIE.....	40
Figura 19: Interconexión de la RNIE con REDNACE y RedCLARA.....	41
Figura 20: Regiones y Universidades por Zona de distribución de IPv6 .....	43
Figura 21: Controladores SDN que soportan OpenFlow.....	46
Figura 22: Área de trabajo del simulador MiniEdit .....	48
Figura 23: Configuración de la Topología de RNIE en el simulador.....	49
Figura 24: Verificación de la configuración de los hosts en el simulador .....	50

Figura 25: Obtención de datos de las interfaces de terminales en IPv6.....	51
Figura 26: Respuesta al flujo de datos IPv6 en SDN .....	52
Figura 27: Simulación con el enlace redundante .....	53
Figura 28: Verificación del flujo de datos IPv6 por el enlace redundante_.....	53
Figura 29: Área de trabajo del simulador de protocolos Wireshark.....	54
Figura 30: Simulación de flujo de datos IPv6 entre hosts de regiones diferentes .	54
Figura 31: Flujo de datos entre los hosts que fluyen por el conmutador .....	55
Figura 32: Flujo simultaneo de datos desde 2 hosts_.....	55
Figura 33: Verificación del flujo de datos IPv6 desde varios hosts.....	56
Figura 34: Verificación del protocolo OpenFlow activo .....	56
Figura 35: Flujo de datos IPv6 mediante OpenFlow y TCP_ .....	57
Figura 36: Verificación de flujo de datos entre Controlador y conmutador SDN_...	57
Figura 37: Configuración del MiniEdit para activar CLI y OpenFlow 1.3 .....	58
Figura 38: Configuración del MiniEdit para activar Controlador Remoto.....	58
Figura 39: Flujo de datos para verificar la activación del Controlador Remoto_.....	59
Figura 40: Área de trabajo del simulador Flowmanager_ .....	59
Figura 41: Visualización de la topología activa de la RNIE, en Flowmanage .....	60
Figura 42: Actividad entre conmutadores y hosts .....	60
Figura 43: Configuración de hosts con la dirección IPv6 asignada. ....	61
Figura 44: Constatación de la configuración realizada. ....	62
Figura 45: Verificación de flujo de datos con dirección configurada.....	62
Figura 46: Ejecución de Wireshark y del comando <i>ping</i> .....	63
Figura 47: Flujo de datagramas IPv6.....	64
Figura 48: Flujo de datos IPv6 y ICMPv6 .....	64
Figura 49: Datos de I/O de la interface h6-eth0 .....	65
Figura 50: Datos de IPv6, ICMPv6, MAC .....	65

Figura 51: Página de inicio del Controlador OpenDayLight. ....	66
Figura 52: Área de trabajo del Controlador OpenDayLight. ....	67
Figura 53: Topología de la RNIE en OpenDayLight. ....	67
Figura 54: Reload de la Topología de la RNIE en OpenDayLight. ....	68
Figura 55: Nodos y sus conexiones en la red. ....	68
Figura 56: Conexiones del nodo s1 (openflow:1).....	69
Figura 57: Conexiones del nodo s4 (openflow:4).....	69
Figura 58: Estadísticas flujo de datos openflow en el nodo s1.....	70
Figura 59: Cronograma de Instalación y puesta en funcionamiento - RNIE.....	76

## Glosario de Términos

<b>ADC</b>	Controlador de Entrega de Aplicaciones
<b>APAN</b>	Asia Pacific Advanced Network
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>ASN</b>	Número de Sistema Autónomo
<b>Broadcast</b>	Transmisión dirigida a los distintos hosts en una red
<b>CAESAR</b>	Connecting All European and South American Researchers
<b>CAPEX</b>	Gastos de Capital
<b>CLARA</b>	Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas
<b>CONCYTEC</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
<b>CUDI</b>	Cooperación Universitaria para el Desarrollo de Internet
<b>DARPA</b>	Defence Advanced Research Projects Agency
<b>DANTE</b>	Delivery of Advanced Network Technology to Europe
<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplexing
<b>FP7</b>	Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea para la Investigación y Desarrollo
<b>GÉANT</b>	Red pan-europea de investigación y educación
<b>Host</b>	Equipo de computo, terminal
<b>IEFT</b>	Internet Engineering Task Force
<b>INTERNEXA</b>	Empresa Internacional de Transporte de Energía y Telecomunicaciones
<b>IoT</b>	Internet de las cosas
<b>IPv4</b>	Internet Protocol versión 4
<b>IPv6</b>	Internet Protocol versión 6
<b>ISPs</b>	Internet Service Provider
<b>LACNIC</b>	El Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe
<b>MPLS</b>	Multiprotocol Label Swirching
<b>NAP</b>	Network Access Point
<b>NBI</b>	Northbound Interface (Interfaz en dirección norte)
<b>NOC</b>	Network Operations Center

<b>NREN</b>	National Research and and Educational Network
<b>NSFnet</b>	National Science Foundation network
<b>O&amp;M</b>	Operación y Mantenimiento
<b>OPEX</b>	Gastos Operativos
<b>PoP</b>	Point of Presence
<b>PRL</b>	El técnico de prevención de riesgos laborales
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RAU</b>	Red Avanzada de Uruguay
<b>RDNFO</b>	Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica
<b>RedCLARA</b>	Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas
<b>REDNACE</b>	Red Nacional de Estado del Perú
<b>REP</b>	Red de Energía del Perú
<b>REUNA</b>	Red Universitaria Nacional de Chile
<b>RIRs</b>	Regional Internet Registry
<b>RNIE</b>	Red Nacional de Investigación y Educación
<b>RPD</b>	Retribución por Disponibilidad
<b>RPI</b>	Retribución por Inversión
<b>RPMO</b>	Retribución por Mantenimiento y Operación
<b>SBI</b>	Southbound Interface (Interfaz en dirección sur)
<b>SDN</b>	Software Defining Network
<b>TCO</b>	Total Cost of Ownership
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TERENA</b>	Trans-European Research and Education Networking Association
<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<b>TTM</b>	Time TO Market
<b>UNS</b>	Universidad Nacional de Santa
<b>URI</b>	Uniform Resource Identifier
<b>vBNS</b>	Very high speedBackbone Network Service

## INTRODUCCIÓN

Desde que la actual Internet se popularizó, siendo utilizado comercialmente, el mundo académico, científico y de investigación, dejó de contar con una herramienta de envergadura y necesaria, no solo para la comunicación entre personas, sino mayoritariamente para la transferencia de grandes volúmenes de datos, ejecución remota, utilización de instrumentos a distancia (instrumentación remota), virtualización y la cooperación - colaboración conjunta para el desarrollo de avances científicos, investigaciones y proyectos binacionales o multinacionales, así como transversales y multidisciplinarios; que no se vean afectados por los inconvenientes de compartir la transmisión de datos en los mismos canales de datos comerciales, sociales, diversión y todo tipo de datos ajenos al mundo académico, científico y de investigación.

Como es ampliamente conocido, Internet tiene sus orígenes en el Departamento de Defensa de los EEUU por medio de su *Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa* (DARPA) que desarrolla la red ARPANET con la participación inicial de la Universidad de Berkeley, el Instituto Tecnológico de Massachusetts, entre otras; con posterioridad la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) crea NSFNet que absorbe a ARPANET y otras redes que se habían creado, red para el sector académico, científico y de investigación; no se permitía el uso de comercial de la red. La red comienza hacer utilizada por otros sectores, constituyéndose en el inicio de la INTERNET. Tras el vertiginoso impulso de los ISP (Internet Service Provider) se clausura el proyecto ARPANET y también NSFNet pierde su posición en Internet

A fines de la década de los 90, luego de haber perdido la hegemonía en el Internet, y por estar limitada en capacidad de transmitir volúmenes de datos, la comunidad científica y académica de Norteamérica recurren nuevamente a la NSF para cristalizar el proyecto de una nueva supercarretera de alto rendimiento (vBNS) para grandes volúmenes de datos y mayor ancho de banda, exclusiva para la investigación y educación, constituyéndose en el año 1998 la red Abilene.

Este esfuerzo inicial se replicó en los demás continentes, que luego sus redes fueron interconectadas; si bien Estados Unidos y Canadá contaban con Redes avanzadas, en la otra parte del continente solo habían esfuerzos aislados de algunos países; es en esta situación, que la Unión Europea toma la iniciativa de apoyar en la creación de una red latinoamericana, que después de denodados esfuerzos se constituye la Red CLARA, red que aglutina a casi todos los países de Latinoamérica que tienen una red académica nacional, entre los que no participan están Bolivia, Paraguay y Perú, mientras que Venezuela ha dejado de continuar.

Las redes avanzadas se han convertido en soporte principal del desarrollo de la investigación científica y aplicada, siendo una herramienta exclusiva para ese sector, ofreciendo además de uso de servicios exclusivos, la interrelación con todos sus pares del mundo. Para participar en esta comunidad es necesario que el país cuente con una RNIE reconocida y aceptada por la corporación que tiene la prerrogativa de darle acceso y cumplir con las restricciones impartidas desde sus inicios de las redes avanzadas, así como sus estatutos.

En el Perú han existido varias iniciativas de lograr crear una red que interconecte al sector académico y de investigación, uno más que otros tuvieron alguna vigencia, pero finalmente no han perdurado, por lo que en la actualidad no existe la RNIE peruana; la tesis presente propone un diseño de la Red Nacional de Investigación y Educación en base a la infraestructura existente de la RDNFO y con las modernas tecnologías de transmisión de datos y constitución de redes.

Se espera que tanto el sector académico, científico y de investigación del país, aunados a la decisión política, permitan hacer realidad constituir una red de investigación y educación que logre posicionar al país en el mundo de las redes avanzadas y estar a la par de todos los países desarrollados, así como los que están siempre en el estado del arte del avance científico y tecnológico.

# Capítulo I. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

## 1.1 Generalidades

Los indicadores de desarrollo y crecimiento sostenible de los países en la actualidad han cambiado drásticamente en relación al siglo pasado, hoy en día no solo son los indicadores económicos sino que contemplan la calidad de vida, acceso a la educación, a la salud, cuidado del medio ambiente, etc; transversalmente en todos estos indicadores, así como en todas las actividades de la vida humana y profesional se encuentra el uso de las TICs; que son imprescindibles para el desarrollo de la Sociedad de la Información y el Conocimiento. (Naciones Unidas, 2023)

En esa perspectiva, el avance científico y el desarrollo tecnológico se convierten en parte fundamental del crecimiento y desarrollo, al ser los directamente involucrados en mejorar e innovar los procesos, procedimientos, instrumentos, maquinarias, equipamiento, etc que permiten mejorar los estándares de convivencia; para conseguir estos desafíos permanentes y cotidianos, la comunidad científica, de investigación y académica requieren, entre otros, disponer de una herramienta de calidad, eficiente y segura, así como de gran capacidad y velocidad, para interactuar y transportar grandes volúmenes de información, que les permita realizar instrumentación y ejecución remota, gran capacidad de cálculo y procesamiento, virtualización, etc.; siendo la infraestructura de red, que garantice estos requerimientos, las denominadas Red Nacional de Investigación y Educación – RNIE o NREN (por sus siglas en inglés).

## 1.2 Descripción del problema de investigación.

La sostenibilidad del desarrollo de un país, no necesariamente se basa por sus índices económicos, ni por el incremento de sus exportaciones de materia prima o exportaciones no tradicionales; sino que hoy en día se basan, también, en el índice de

desarrollo humano, y los grados en vivienda, salud, y educación; así como su acceso a la información y la generación de conocimiento. Independiente de los ingresos, los países en la actualidad incentivan la investigación, creación y la innovación para crecer sosteniblemente y avanzar en su desarrollo.

“Tras la reciente adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el período 2015-2030 por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas, el Informe sobre la Ciencia de la UNESCO pone de manifiesto que la investigación es un factor de aceleración del desarrollo económico y, a la vez, un elemento determinante en la construcción de sociedades más sostenibles y susceptibles de preservar mejor los recursos naturales del planeta”. Directora General de la UNESCO.

(Bokova, 2015).

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), facilitan difusión de la información científica, a través de las redes académicas avanzadas, permiten el acceso abierto de artículos y documentos que están disponibles para la comunidad académica y de investigación acreditada. (Alva, 2020)

“En algunos países de América Latina, estas redes presentan grandes limitaciones y dificultades referidas a la poca conciencia en la vinculación estratégica entre el mantenimiento de redes avanzadas y la infraestructura de información para el desarrollo de políticas por parte de estos países de la región, así como la existencia de marcos legales inapropiados para su creación y mantenimiento. De igual modo, en la creación de dichas redes se evidencian el poco uso de la banda ancha de gran capacidad a precios competitivos y la escasa disposición de recursos humanos para su consolidación en el continente.” (OEA, 2005).

En este contexto, en el Perú, si bien se han realizado diferentes esfuerzos por parte de la comunidad académica universitaria pública y privada, y en algunos casos con apoyo del CONCYTEC, y la participación de institutos nacionales de investigación; siendo la Red Académica Peruana - RAAP el esfuerzo más significativo que logró aglutinar a 3

universidades nacionales (UNMSM, UNI, UNALM), 2 universidades particulares (PUCP, UPCH), y 2 institutos nacionales de investigación (IPEN, INICTEL) como sus principales asociados (Chávez, 2009), permitió al Perú participar en el inicio del Proyecto ALICE y por ende en la creación de la red CLARA, y tener conexión a redes avanzadas entre los años 2005 al 2013; esfuerzo frustrado por la falta de apoyo del gobierno, algunas autoridades y funcionarios universitarios y, por los altos costos de interconexión nacional, que no permitió el despliegue de la red para acceder e incrementar a las instituciones universitarias y de investigación a nivel nacional.

Transcurrido el tiempo y, por el vertiginoso avance de las TICs, el desenfrenado desarrollo de la investigación científica, así como el crecimiento desmesurado de las redes avanzadas en el mundo y en los países de Latinoamérica, es hora que el Perú acorte distancia en el uso de las redes avanzadas de los países vecinos y que proporcione a sus docentes e investigadores universitarios una herramienta básica para desarrollo de investigación aplicada y el intercambio de información con sus pares del mundo.

### **1.3 Objetivos del estudio.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Proponer un Diseño de la Red Nacional de Investigación y Educación Peruana – RNIE para su conexión a Redes Avanzadas, mediante la utilización de la infraestructura de la Red Dorsal Nacional.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Proponer el diseño de la Arquitectura de la Red de acceso Nacional con las avanzadas tecnologías de transmisión y comunicación de datos.
- Configurar la red propuesta con una arquitectura de última generación que le permita ser dinámica, adaptable y flexible en asignación del ancho de banda.
- Emular el diseño de la red para comprobar eficiencia de la configuración realizada.
- Interconectar la red a la Red CLARA.

#### **1.4 Antecedentes investigativos.**

La Comunidad Europea, según el programa Alianza por la Sociedad de la Información @LIS (Programa de Cooperación entre Europa y América Latina), inició una serie de proyectos con la participación de instituciones europeas y latinoamericanas (@LIS, 2006). Uno de estos proyectos era CAESAR, se desarrolló entre marzo y octubre del año 2002, patrocinado por la Comisión Europea, realizado por DANTE (1993 – 2013) y las NRENs de Portugal y España, cuyo objetivo central era analizar la viabilidad de conexión directa entre la red GÉANT (GÉANT, 2014) y las redes nacionales en América Latina. En Junio del año 2002 en la Universidad de Castilla de la Mancha de Toledo-España, se realizó el Taller de Toledo (RedCLARA, 2002) donde participaron los representantes de las redes académicas y de los países interesados en tener su propia NREN; comprometiéndose en la creación de su propia red; generándose el Proyecto ALICE (América Latina Interconectada con Europa), el mismo que se inició oficialmente el 3 de junio del año 2003.

La Comisión Europea, en el marco del Programa @LIS, destina el 80% para financiar el proyecto ALICE (€10 millones), y los socios latinoamericanos aportan el 20% restante (€2.5 millones), concretándose la declaración acordada por los Jefes de Estado y Gobierno en la II Cumbre entre los países de América Latina y el Caribe con la Unión Europea, realizada en España - Madrid en mayo del año 2002, donde se otorga el apoyo al proyecto.

En el marco del desarrollo del Proyecto ALICE nace la Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas - CLARA (RedCLARA, 2002), con sede en Uruguay, que reúne a todas las RNIEs de los países latinoamericanos participantes en el proyecto ALICE, que tenían sus Redes Nacionales o estaban interesados en contar con una Red Avanzada.

Al momento de la creación de CLARA, sólo cuatro países Latinoamericanos contaban con su Red Nacional de Investigación y Educación – RNIE, Argentina (INNOVA Red), Brasil (RNP), Chile (REUNA) y México (CUDI) que estaban conectadas a las redes avanzadas del mundo de manera independiente, sin interconexión entre ellas. El Proyecto ALICE tenía como uno de sus objetivos que CLARA fomenta en los países donde todavía

no contaban con redes académicas, como era el caso del Perú, iniciar el proceso de formación de sus RNIE.

El Perú desde el inicio de CAESAR participó en el proyecto, viéndose en la necesidad de iniciar los esfuerzos para establecer en el Perú una red académica que permitiera interconectar las universidades y centros de investigación peruanos con el uso de tecnología avanzada. Es así como el CONCYTEC, en noviembre del año 2002, crea una comisión para dar los primeros pasos en la creación de esta red académica y el 30 abril del año 2003 se realiza la Asamblea fundacional de la RAAP, conformándose la Comisión Provisional de la Red Académica Peruana-RAAP. (Ruiz, 2005).

El invaluable esfuerzo realizado por 7 instituciones peruanas, 3 universidades públicas, 2 privadas y 2 Institutos de Investigación no fue comprendido, ni entendido, menos apoyado por los gobiernos de turno y por ciertas autoridades universitarias que miopes del desarrollo de los avances de las Redes Avanzadas dejaron que, una vez más, nuestro país no se encuentre conectado con sus pares del mundo.

En el desarrollo de CLARA, países como Ecuador, Colombia, Uruguay, Guatemala, Venezuela, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua han creado, diseñado e implementado sus RNIEs, siendo Colombia la que lidera el desarrollo de las redes y ha tenido mayor impulso en los últimos años.

## Capítulo II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 Marco teórico

El avance de la Sociedad del Conocimiento ha variado la manera de realizar investigación; conceptualizando la participación activa en el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación de manera colaborativa, con cooperación y participación de manera local, regional o global; requiriendo tener disponibles redes avanzadas para interconectar recursos, instrumentos, datos y capacidades humanas.

Tener disponible el uso de instrumentos y servicios, así como capacidades computacionales, análisis de volúmenes de datos, mediante una red de alto rendimiento y segura, son fundamentales para que los países enfrenten los desafíos del desarrollo, en todos los ámbitos que la sociedad requiere.

La Ley 29904 para impulsar el desarrollo, utilización y masificación de la Banda Ancha en todo el territorio peruano se promulgó en el año 2012, permite promover el despliegue de infraestructura, servicios, contenidos aplicaciones y habilidades digitales como un medio de favorecer y facilitar, entre otras, la inclusión social, el desarrollo socioeconómico, la competitividad, la promoción del Gobierno Electrónico, enrumbando al país hacia una sociedad de la información y el conocimiento; mediante la construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica; y la Red Nacional del Estado Peruano - REDNACE, dentro de esta infraestructura de red se forma la infraestructura de la Red Nacional de Investigación y Educación del Perú- RNIE.

La Ley 29904 de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, faculta al Estado Peruano contar con un porcentaje reservado de su capacidad en favor de la REDNACE, red de acceso a Banda Ancha de las instituciones públicas, que permita el desarrollo de la Sociedad de la información y el Conocimiento.

El 23 de diciembre del año 2013 luego de un concurso internacional encargó a Azteca - Comunicaciones para la construcción de red de fibra óptica de 13,500 Km, firmándose el contrato con un plazo de concesión de 20 años, el 17 de junio del año 2014. Se culminó el tendido en setiembre del 2016, desplegado en 180 de las 193 capitales de provincia. Al término de la concesión, por resolución del contrato mediante la RM N° 689-2021 MTC/01 del 13 de julio del año 2021, se establece que en su mejor año Azteca Comunicaciones logró tener cerca de 30 clientes que apenas consiguieron cubrir el 7.0% de su capacidad instalada, en el año 2020 solo el 3.2% de su capacidad instalada fue utilizada, y en referencia a los ingresos del proyecto, estos solo cubrieron el 7.7% de los costos que el Estado incurre en el cofinanciamiento.

### **2.1.1 Redes**

La red es un conjunto de equipos o sistemas informáticos independientes interconectados, que permiten compartir o intercambiar recursos, información y servicios, siendo necesario su conexión física y la conexión lógica de los mismos. (Gil, 2010)

Las redes se clasifican de muchas maneras, por su técnica de comunicación, por su cobertura o extensión geográfica, por su explotación, por su topología.

- Según su técnica de comunicación:
  - Redes punto a punto: interconexión mediante un medio exclusivo por cada pareja de equipos conectados, la información se transmite directamente sin elegir un determinado camino.
  - Redes de difusión (Broadcast): un único medio de transporte es compartido por todos los equipos, mediante un mecanismo de control de acceso a la red; la información en el medio es recibido por todos los equipos conectados.
  - Redes de conmutación: En el medio de transmisión existen equipos de conmutación (nodos), de tal forma que las estaciones que se conectan a la red no están unidas directamente, sino que se unen a un nodo de conmutación en el interior de la red.

De acuerdo al funcionamiento de los nodos, se dividen en tres tipos:

- Conmutación de circuitos: El origen indica con que destino quiere comunicar. Los nodos se encargan de establecer un camino exclusivo (punto a punto) entre el emisor y el receptor.  
Se intercambia la información que se desee y se libera la conexión.
- Conmutación por mensajes: son redes de almacenamiento y reenvío, no se establece una conexión entre emisor y receptor. Todos pueden enviar.
- Conmutación de paquetes: el mensaje se divide en paquetes con una longitud máxima específica. Según la forma de envío puede ser:
  - Por datagrama: cada fragmento contiene una cabecera que, entre otras cosas, indica el destino y un número de secuencia, cada paquete se envía por separado y el destino debe reordenar los paquetes a su recepción.
  - Por circuitos virtuales: Mediante un paquete especial la red establece un circuito virtual entre la fuente y el destino; el nodo de la fuente entrega el identificador del circuito virtual, cada nodo le solicita al siguiente el establecimiento de un circuito virtual, así sucesivamente hasta alcanzar el destino, cada nodo crea una tabla que asigna el identificador de circuito virtual. Establecido el camino, se empieza el envío de los paquetes que deben contener el número del circuito virtual a seguir.
- Según su alcance o extensión geográfica:
  - Red de Área Local - LAN: red de áreas pequeñas desde 10m (edificio o varios) hasta 1Km de diámetro; forman parte las redes de campus universitarios.
  - Red de Área Metropolitana – MAN: Se consideran las redes que abarcan un diámetro de algunas decenas de kilómetros, puede cubrir una ciudad y sus alrededores.
  - Red de Área Ampliada–WAN: la red se extiende desde unos cientos a miles de kilómetros, cubriendo una región hasta un continente e inclusive todo el planeta.
- Según su explotación:
  - Redes Privadas: De uso particular para darse servicio a sí mismas.

- Redes Públicas: De uso público previo contratación del servicio a la empresa propietaria de la misma.
- Según su topología:
  - Bus: Los equipos de cómputo comparten un solo medio de comunicación (bus) que inicia y finaliza con un terminador; solo una de las computadoras envía los datos a la vez, mientras las otras esperan recibirlos o para enviar sus mensajes.
  - Estrella: La conexión de cada uno de los equipos de cómputo se realiza directamente a un equipo central (hub): El concentrador recibe los datos que envía alguna computadora y los transmite al resto de las máquinas.
  - Anillo: Los equipos de cómputo comparten un solo canal de comunicación (conectadas en serie) en forma de anillo. Los datos se desplazan en una dirección y por todos los equipos conectados, los mismos que actúan como repetidores, al mejorar la señal recibida para retransmitirla. Las redes *Token ring* que utilizan la técnica de transmisión *token passing* instalan una topología doble anillo.
  - Malla: Todos los equipos de cómputo se interconectan entre sí, existe redundancia en la transmisión los datos
  - Árbol: Consiste en una interconexión de varias topologías estrellas, de forma jerárquica o interconectadas mediante una red bus.

### **2.1.2 Redes Avanzadas.**

Las redes avanzadas se les denomina a las redes de investigación y educación, de alta velocidad, excelente performance y alta seguridad; disponible exclusivamente para las comunidades de educación e investigación, cuyo acceso está limitado a aquellas que confluyen en una Red Nacional de Investigación y Educación que está reconocida por la corporación le permite el acceso. Son redes independientes de la Internet comercial. (RedCLARA, 2005).

Los propósitos principales de las redes avanzadas son:

- Proveer de una infraestructura de comunicación de datos de gran capacidad al sector académico y de investigación, para transmitir volúmenes de datos a gran velocidad.

- Constituirse como una herramienta de investigación poderosa, para desarrollar nuevos servicios y tecnologías red, innovaciones, experimentación y pruebas por académicos, investigadores y científicos.

Muchos de los avances en telecomunicaciones y redes fueron generados en las redes avanzadas y muchas de las tecnologías que se consumirán están hoy siendo desarrolladas en ellas. (RedCLARA, 2005).

### 2.1.3 Protocolo IPv6

El protocolo de Internet de nueva generación IPv6 es una evolución del actual protocolo IP, desarrollado por el IEFT (“*Internet Engineering Task Force*”) mantiene las mejores funciones de IPv4, remueve las poco utilizadas y agregando nuevas para dar solución a requerimientos necesarios, y realizar su implementación gradual. (Loshin, 2003).

**Tabla 1**  
*Principales características de los protocolos IP*

IPv6	IPv4
Direcciones de 128 bits (16 bytes)	Direcciones de 32 bits (4 bytes)
Arquitectura jerárquica	Arquitectura plana
Configuración automática	Configuración manual
Multicast y anycast	Broadcast
Seguridad obligatoria	Seguridad opcional
Identificación de QoS	Sin Identificación QoS

*Adaptado de (Loshin, P., 2003)*

Las principales características, tabla 1, del protocolo son:

- ✓ Incremento del tamaño de direcciones IP, sube a 128 bits.
- ✓ Paquetes IP jerárquicos, eficientes, extensibles y cabecera de longitud fija, con posibilidad de carga útil de más de 65 355 bytes.
- ✓ Seguridad Integrada – IPSec.
- ✓ Autoconfiguración
- ✓ Renumeración y multihoming
- ✓ Movilidad
- ✓ Calidad de servicio QoS

✓ Autenticación y privacidad

- Direccionamiento IPv6

Las direcciones de 128 bits identifican conjuntos de interfaces o individuales. Tres tipos de clasificación:

Unicast: para una sola interfaz. [RFC 2373] [RFC 2374]. (Hinden, 1998).

Anycast: para un conjunto de interfaces. [RFC 2526]. (Johnson, 1999).

Multicast: para un grupo de interfaces [RFC 2375]. (Deering, 1998).

- Formado de direcciones

Tres formas de representar 120 bits de una dirección IPv6

- Ocho bloques de 16 bits, separados por (:) dos puntos.

Cada bloque de 4 símbolos hexadecimales, los ceros a la izquierda de cada campo no se escriben, al menos debe existir un carácter en cada campo.

Ejemplo:

F8A4:BC45:8625:1220:EFDC:1048:AF32:5AD

2100:0:6:541:ACD5:5DA6:17:ADC4

- Campos con cadenas de bits cero

Las cadenas de bits consecutivas con campos de valor ceros se representan con doble dos puntos (::); solo debe aparecer una sola vez en el formato e indica uno o más bloques de ceros de 16 bits.

Ejemplo:

1500:0:80::43DA:80

FF01::a08

::2

- Escenario de IPv4 e IPv6

Los 6 primeros campos son 16 bits, seguidos de 4 campos de 8 bits que representan el formato estándar de las direcciones IPv4.

Ejemplo.

EFFE:350A:80:43DA:80:0:129.154.52.23

F501::B48:221.105.32.188  
 ::1:201.102.154.35

- Direcciones Global Unicast

Son las que permiten el enrutamiento entre nodos a través de Internet, el espacio reservado es desde 2001:0000::/23 hasta 3fe::/16

Ejemplo.

2001:0000::/23 está reservado para las asignaciones de protocolo IETF [[RFC2928](#)]

2001:1::1/128 está reservado para el protocolo de control de puertos Anycast [RFC7723]

Formato en la tabla 2: (Loshin, 2003).

**Tabla 2**

*Formato de las unicast global de direccionamiento IPv6*



*Adaptado de (Loshin, 2003)*

- *Prefijo de ruteo global:* prefijo designado a un lugar, generalmente está estructurado jerárquicamente por los Regional Internet Registry (RIRs) e Internet Service Provider (ISPs).
- *Identificador de subred:* identificador de una sub-red dentro de un lugar. Es estructurado jerárquicamente por los administradores.
- *Identificador de Interfaz:* identificador de una interfaz, de 64 bits y en formato Modified EUI-64 (Identificador único extendido) para las direcciones unicast, sin considerar a las que empiezan con 000.

#### 2.1.4 Red definida por software

SDN, la red definida por software, conformada con arquitectura de última generación, necesaria en las actuales aplicaciones que necesitan de mayor ancho de banda, flexible y variable.

El control de la red y las funciones de reenvío, son desacopladas en esta arquitectural, siendo el control de la red sea programable; para comunicarse con la infraestructura de hardware, de aplicaciones y servicios usa interfaces de programación de aplicaciones (API) o controladores basados en software. (García, 2015).

Como se describe, SDN hace posible a los administradores que la conectividad física a la red sea virtualizada. La virtualización comprende de tres capas (lcapa-aplicaciones, control e infraestructura), con conexión mediante API de comunicación norte y sur.

- Arquitectura

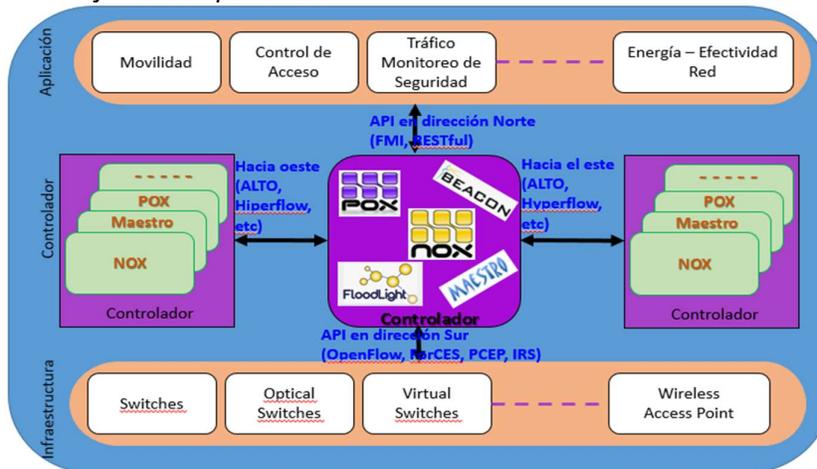
Las redes definidas por software administran el comportamiento del plano de datos mediante el controlador SDN; las instrucciones específicas de red están contenidas en programas de la capa de aplicaciones.

La capa de control contiene el controlador SDN para administrar las políticas y el flujo datos para conectar la capa de aplicaciones a la capa de infraestructura. A través de la API norte procesa los datos suministrados por la capa de aplicaciones y los envía, por medio de la API sur, a la infraestructura de red. De la capa de infraestructura, se extare información, que para mejorar el funcionamiento se la envía a la de aplicación.

Los conmutadores y enrutadores físicos de la red están contenidos en la capa de infraestructura, son los que controlan la capacidad de procesamiento de datos y funciones de reenvío, responsables de recoger información crítica, como la topología y utilización de la red, y trasladarla a la capa de control.

**Figura 1**

*Arquitectura SDN y sus componentes*



*Adaptado de (Cáceres, J. & Casilimas, C., 2022)*

Como se grafica en la figura 1, el controlador de la arquitectura SDN es el encargado de integrar las tres capas, mediante la interfaz de dirección norte a las aplicaciones y con el API dirección sur a los dispositivos de red.

Hay varios modelos de SDN según como se controla, virtualmente, el flujo de datos en los enrutadores y conmutadores.

**SDN abierta:** para administrar la red se utiliza un protocolo como OpenFlow (OpenDayLight, OnePK); en la transmisión de datos la gestión y control es mediante el control del comportamiento de los conmutadores virtuales y físicos.

**SDN por API:** el control del desplazamiento de los datos por la red en cada dispositivo, es mediante APIs.

**Superposición de SDN:** este tipo de SDN, en la infraestructura de red, pone en funcionamiento una red virtual, mediante la creación de túneles dinámicos a los diversos bases de datos remotos y locales; asignando el ancho de banda y dispositivos a los diferentes canales, quedando la red física intacta.

**SDN híbrida:** en esta SDN se utiliza conjuntamente con las redes tradicionales, permitiendo compartir una parte del control en flujo de datos para respaldar las funciones de red, y los protocolos de la red tradicional dirigen parte del tráfico.

La Arquitectura SDN es:

- Programar directamente el Control de Red al estar desvinculado de las funciones de reenvío.
- Permitir ajustar dinámicamente el flujo de tráfico de toda la red de acuerdo las cambiantes necesidades, por los administradores; al abstraer el control del reenvío.
- Mantener una vista global de la red, mediante un solo conmutador lógico centralizado basado en SDN que se constituye como la inteligencia de la red.
- Programar, por los administradores de red, mediante programas SDN (dinámicos y automatizados) o los desarrollados por ellos mismos (los programas no dependen de software propietario), la configuración y administración que aseguren y optimicen los recursos de la red muy rápidamente y de manera eficiente.
- Implementar con estándares abiertos, para simplificar el diseño y operación de la red porque son los controladores SDN los proporcionan las instrucciones, en lugar de los del proveedor.

## **2.2 Marco conceptual**

Entre las primeras redes avanzadas que se formaron en Latinoamérica y que tenían conexión individual a la Red Internet2 (Abilene) o a Europa (GÉANT), sin estar interconectadas entre sí, están la red denominada CUDI en México, en Brasil la Red para la Educación e Investigación es la RNP, en Chile la Red REUNA (Red Universitaria Nacional) creada el 06 de diciembre de 1990, es la Red Nacional de Investigación e Educación y la red RETINA (Red Teleinformática Académica) en Argentina.

Posteriormente se forman las redes académicas nacionales de investigación y educación, en Uruguay es RAU, en Perú la RAAP, RENATA en Colombia, en Ecuador CEDIA, así como en varios países de Centro América.

Para la interconexión de las redes nacionales se constituye la Red regional denominada RED CLARA, que es la que permite a la RNIE (Red Nacional de Investigación y Educación) miembro tener conexión con universidades y con la comunidad científica y de investigación mundial brindándole calidad de servicio.

La Red CLARA gestiona y administra una red dedicada, de alta performance, garantiza un servicio de alta calidad, exigente confiabilidad, gran velocidad y seguridad para los datos que se transmiten por sus enlaces.

En América del Sur, sólo Bolivia, Paraguay y Perú no cuentan con una Red Académica, por lo que se hace necesario proponer el diseño de una arquitectura de red que viabilice la interconexión de la comunidad académica, científica y de investigación, en el marco de la Ley N° 29904 que en su artículo 25 considera la formación de la Red Nacional de Investigación (RNIE).

Es de necesidad urgente del Perú dotarse de una infraestructura de red avanzada desplegada a nivel nacional, que se integre a las redes regionales y mundiales similares. Un esfuerzo inicial se dio en abril del 2003, al crearse la Red Académica Peruana-RAAP.

La RNIE del Perú, permitirá el uso compartido de datos científicos, contenidos digitales, instrumentación remota, software y servicios colaborativos con sus pares del mundo.

La Ley N° 29904 que se promulga en el año 2012, según el Art. 1. Objeto de la Ley "El propósito de la Ley es impulsar el desarrollo, utilización y masificación de la Banda Ancha en todo el territorio nacional, tanto en la oferta como en la demanda por este servicio, promoviendo el despliegue de infraestructura, servicios, contenidos, aplicaciones y habilidades digitales, como medio que favorece y facilita la inclusión social, el desarrollo socioeconómico, la competitividad, la seguridad del país y la transformación organizacional hacia una sociedad de la información y el conocimiento." (Poder Legislativo, 2012).

La Ley N° 29904, especifica en su Art. 7 inciso 7.2, que la RDNFO debe ser de alta velocidad, confiable, disponible, redundante y presente en todas las capitales de provincia; diseñada en base al tendido de fibra óptica, que viabilice el desarrollo de la Banda Ancha en el país. (Poder Legislativo, 2012).

La Red Nacional del Estado Peruano (REDNACE) se crea por del Art. 17 de la Ley N° 29904 para dotar al Estado Peruano de una Red Nacional que priorice la educación, la

investigación y desarrollo e innovación, así como la salud, defensa nacional y seguridad. (Poder Legislativo, 2012).

El Art. 18, reserva de capacidad de la Red Nacional del Estado Peruano, describe “Un porcentaje de la capacidad de telecomunicaciones de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, estará reservado para la implementación de la Red Nacional del Estado (REDNACE), que atenderá las demandas de conectividad de Banda Ancha de todas las entidades de la administración pública a que se refieren los numerales 1 al 7 del artículo I de la Ley 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General. Este porcentaje será determinado y actualizado periódicamente mediante resolución suprema”. (Poder Legislativo, 2012).

La Red Nacional de Investigación y Educación (RNIE) se forma en el Art. 25, con la participación de universidades públicas e institutos de investigación para integrarlas a las redes avanzadas del mundo, y mejorar el desarrollo de las investigación, el avance tecnológico y la innovación. (Poder Legislativo, 2012).

Al CONCYTEC se le asigna, mediante el Art. 29, la función de implementar el monitoreo y funcionamiento de la RNIE; y de precisar los indicadores y aspectos técnicos que las universidades deben considerar para mejorar su infraestructura de red para desarrollar en su interior la I + D + I. (Poder Legislativo, 2012).

En el Art. 43 del DS N° 014-2013-MTC, del Reglamento de la Ley 29904 se detalla “Las universidades públicas e institutos de investigación forman la RNIE, cuyo objetivo es integrarse a las redes regionales de investigación y educación del mundo para acelerar los procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Las universidades privadas pueden interconectarse a la RNIE”. (Decreto Supremo N.º 014, 2013).

La RNIE solo cursará datos o información de aspectos académicos, de investigación, educativos y los propios de la actividad universitaria y de los institutos de investigación que la integren. (Poder Legislativo, 2012)

### **2.2.1 Redes avanzadas en funcionamiento.**

Con la comercialización y popularización del actual Internet la NSF de EEUU retira su apoyo que había brindado desde sus orígenes (NSFNet, 1986) a la comunidad académica, de investigación y científica; es a raíz de la necesidad solicitada, de investigadores y científicos principalmente la comunidad de Física de EEUU, a la NSF que se establece vBNS.

La Fundación Nacional de Ciencias (NSF) patrocina e implementa vBNS servicio de rendimiento alto con 144Mb/s, empezó a finales del año 1994, completa su topología de red y operar a inicios de 1995, incluyendo a instituciones de educación, aplicaciones científicas, centros de supercomputadoras, instituciones de investigación conectadas directamente. (Jamison, 1997).

El despliegue de esta iniciativa, impulsa las redes avanzadas (redes académicas de Nueva Generación) en todos los continentes, se desarrollan a nivel continental las principales redes.

En el año 1997 nace el Consorcio Internet2, estableciéndose ese mismo año la primera Red Académica Avanzada Trans Europea, las redes Académica Avanzadas de Europa, Asia y EEUU se interconectan en el año 1998.

- **Internet2:**

Internet2 es una comunidad integrada por más 320 instituciones, que proporciona una red segura de alta velocidad, soluciones en la nube, apoyo a la investigación y servicios personalizados para la investigación y la educación, además incluye universidades, instituciones científicas y de investigación, entidades gubernamentales, corporaciones y organizaciones culturales. Internet2, es una organización sin fines de lucro gobernada por una Junta Directiva.

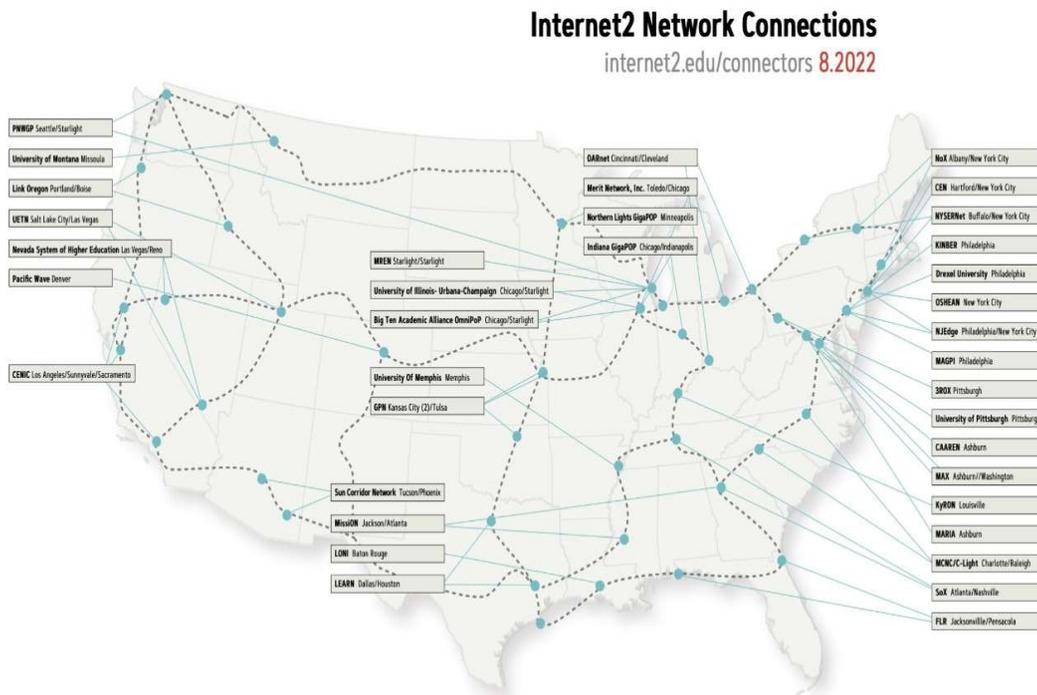
A través de InCommon, Internet2 proporciona seguridad, privacidad y herramientas de gestión de identidades y accesos, creadas para la investigación y la educación: inicio de sesión único, autenticación única, acceso a la nube y servicios locales, y roaming wifi. (InCommon, 2000).

La red está diseñada para los exigentes requisitos de la investigación intensiva en datos y para respaldar las necesidades avanzadas de computación en la nube y campus de la comunidad de investigación y educación, Internet2 Network proporciona el rendimiento, la resistencia, la seguridad y las capacidades que exigen las aplicaciones más avanzadas. (Internet2, 1997).

En la figura 2 se muestra la topología de red Internet2, que interconecta a las redes estatales o de organismos de educación, ciencia o de investigación.

**Figura 2**

*Topología de Internet2*



*Topología obtenida de <https://internet2.edu>*

- **GÉANT:**

GÉANT, red paneuropea, avanzada, de educación e investigación que brinda conexión a las NREN de todos los países de Europa, brindando conexión a más de 50 millones de usuarios de 10 000 instituciones académicas, científicas y de investigación. (GÉANT, 2000).

GÉANT es un esfuerzo colaborativo, el proyecto representa a 43 NREN de Europa y naciones con acuerdos de terceros países del FP7. A través de los socios de NREN, GÉANT ofrece una gama de servicios para instituciones, proyectos e investigadores.

La infraestructura de red de GÉANT, figura 3, cuenta con 50 000 km de la fibra óptica troncal e implementada con los equipos de red de tecnologías de conmutación y transmisión de última generación, brinda 2 Tbps para otorgar mayor capacidad, mayor velocidad y mejores niveles de resiliencia, garantiza un servicio seguro y continuo para transferencia de datos críticos sensibles al tiempo.

**Figura 3**

*Despliegue de la Red GÉANT*



*Topología obtenida de <https://geant.org>*

GÉANT es la red de investigación y educación más avanzada y mejor conectada del mundo, tiene amplios vínculos con otras regiones a través de la colaboración con otras redes, incluidas las de América del Norte y América Latina, el Mediterráneo, Sudáfrica, Asia Central y Oriental entre otros.

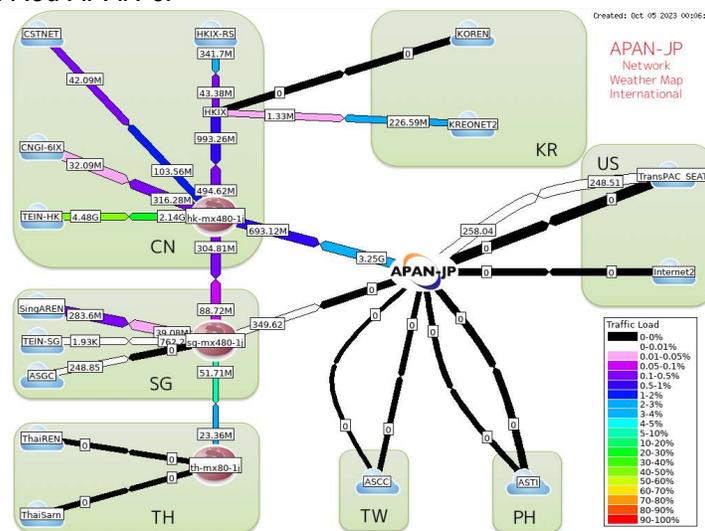
- **APAN:**

La figura 4, muestra el Consorcio APAN (Red Avanzada de Asia y el Pacífico), que es una red de alto rendimiento con aplicaciones y servicios avanzados de nueva

generación, para la región de Asia-Pacífico. APAN es la asociación internacional de las NREN, conformada por 17 miembros principales, 3 miembros asociados, 2 afiliados y 15 socios estratégicos; entre las redes nacionales que son parte de la red APAN, están: AAARNET (Australia), CERNET (China), HARNET (Hong Kong), ERNET (India), APAN-JP (Japón), APANKR (Korea), MYREN (Malasia), NREN (Nepal), REANNZ (Nueva Zelanda), PERN (Pakistan), SingAREN (Singapur) ThaiREN (Tailandia), VinaREN (Vietnam). (APAN, 1997).

**Figura 4**

*Backbone de la Red APAN-JP*



*Backbone obtenido de <https://geant.org>*

- **UbuntuNet Alliance:**

La red que interconecta, desde 12 puntos de presencia, a las RNIE de África Oriental y Meridional hacia las redes avanzadas mediante los puntos de enlace hacia Ámsterdam o Londres, se muestra en la figura 5. (UBUNTUNET ALLIANCE, 2007).

Los miembros que constituyen esta alianza son: BERNET (Burundi), MAREN (Malawi), BotsREN (Botswana), RENU (Uganda), EthERNet (Etiopía), TENET (Sudáfrica), MoRENet (Mozambique), KENET (Kenia), iRENALA (Madagascar), RwEdNet (Ruanda), SomaliREN (Somalia), SudREN (Sudán), ZAMREN (Zambia), ZIMREN (Zimbabue), TERNET (Tanzania).

**Figura 5**

*Red de UbuntuNet Alliance*



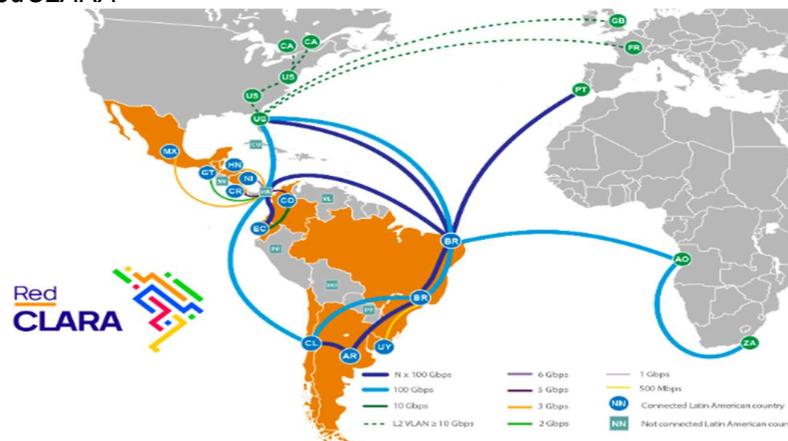
*Red obtenida de <https://ubuntunet.net/the-ubuntunet-network/>*

- RedCLARA:

La Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas, interconecta a las RNI de los países de Latinoamérica y el Caribe, los países que cuentan con una Red avanzada y son parte de la RedCLARA son: RNP-Brasil, RENATA-Colombia, RedCONARE-Costa Rica, REUNA-Chile, CEDIA-Ecuador, RAGIE (Guatemala), RedNESAH (Honduras), CUDI-México, RedRUNBA (Nicaragua), RAU-Uruguay. (REDCLARA, 2003).

**Figura 6**

*Topología RedCLARA*



*Topología obtenida de <https://redclara.net/index.php/es/red/redclara/topologia-actual-de-la-red/>*

El backbone principal de la red, mostrado en la figura 6, está compuesto de 5 PoP principales con enlaces punto a punto, 4 de ellos en Sudamérica (Brasil–Sao Paulo, Argentina–Buenos Aires, Chile-Santiago, Panamá) y el otro en EEUU-Miami. Estos nodos están conectados en un anillo de 100Gbps con EEUU, mediante Brasil, Chile y Panamá.

Mediante nodo de Miami RedCLARA intercambia datos con GÉANT e INTERNET2.

En la actualidad RedCLARA interconecta a 10 países y a más 2 000 universidades y centros de investigación de Latinoamérica.

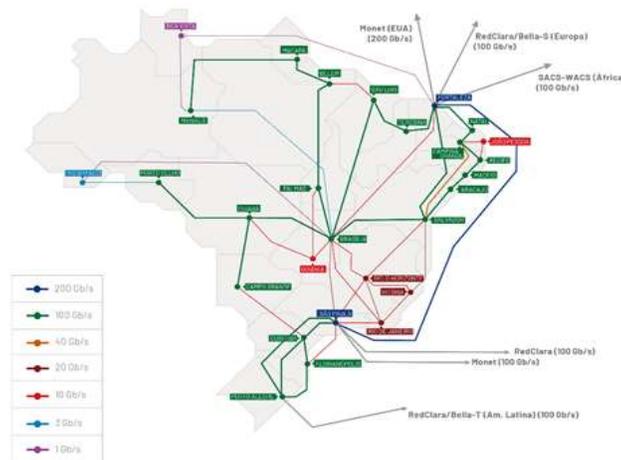
- **RNP:**

La Red Brasileña de Educación e Investigación, mostrada en la figura 7, interconecta universidades, institutos educativos y culturales, centros de investigación, entre otras, beneficia a más de 4 millones de estudiantes, docentes e investigadores; brindándoles servicio seguro, de calidad y alta capacidad a través de 1 000 campus y organizaciones de enseñanza investigación y salud

RNP es creada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en el año 1989, con la finalidad de dotarse de una infraestructura de red Internet académica nacional y difundir el uso de las redes; hoy en día cuenta con un backbone de fibra óptica de 200 Gbps, tiene una capacidad agregada de 2,76 Tbps con 27 PoP uno en cada estado y un enlace internacional de 600Gbps. (RNP, 1989).

**Figura 7**

*Topología de la Red RNP*



Topología obtenida de <https://rnp.br>

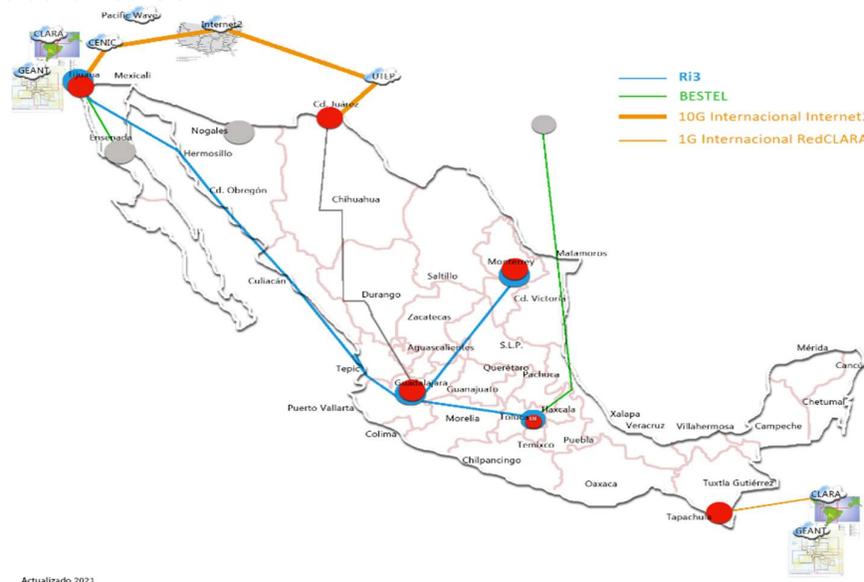
- **CUDI:**

La RNIE de México es gestionada por CUDI, asociación civil sin fines de lucro; fundada en abril del año 1999. La red dorsal se extiende por todo el territorio del país con enlaces entre 1 a 10 Gbps, integra a las principales universidades y centros de investigación, permitiendo conectar a los Investigadores del Sistema Nacional y a los que participan en empresas que apoyan la investigación y la educación.

La topología de la red CUDI, se muestra en la figura 8, usa protocolos muy avanzados en sus redes, como Multicast, Seguridad, Ipv6, MPLS, H.323, y HDTV. (CUDI, 1999).

**Figura 8**

*Backbone de la Red CUDI*



*Backbone obtenido de <https://cudi.edu.mx>*

- **RENATA:**

RENATA, es la red académica avanzada de Colombia, interconecta 44 instituciones y 75 sedes en 38 ciudades a través de 55 nodos mediante enlaces de 100 Gbps con altos niveles de seguridad, estabilidad y direccionamiento IPv6 nativo, graficada en el figura 9. (RENATA, 2007).

**Figura 9**

*Red Troncal RENATA*



*Red troncal RENATA obtenida de [http:// renata.edu.co](http://renata.edu.co)*

- **REUNA:**

La red avanzada de Chile, mostrada en la figura 10, se denomina REUNA, reúne a más de 45 instituciones entre centros de investigación, universidades y grupos astronómicos que se extienden a lo largo de 14 regiones, es una corporación sin fin de lucro que los interconecta mediante enlaces de hasta 100 Gbps, llegando a transferir 122PB en el 2021. (REUNA, 1993).

**Figura 10**

*Infraestructura digital de REUNA*



*Infraestructura Digital obtenida de <https://reuna.cl>.*

## 2.2.2 Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

El Estado Peruano promulgó la Ley 29904 en el año 2012, RDNFO, y con el DS 014-2013-MTC su Reglamento, además de otras Leyes y Decretos Supremos que declaran el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología de interés nacional, así como Políticas Nacionales para facilitar el acceso a Internet, el desarrollo de aplicaciones y contenidos.

Según el Programa Nacional de Telecomunicaciones – PRONATEL, en la actualidad se han instalado algo más de 13 500 Km de fibra óptica que interconectan a 22 capitales de regiones con 180 capitales de provincias a través de 322 nodos, brinda el servicio portador en 180 nodos de distribución y 136 nodos de conexión.

Durante el año 2022, la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica mostró, según la tabla 3, las siguientes estadísticas: (PRONATEL, 2022).

**Tabla 3**

*Indicadores de REDNACE*

N	Indicador	1er Trim 2022	2do Trim 2022	3er Trim 2022	4to Trim 2022 (Noviembre)
1	Total clientes	19	19	20	21
2	Capacidad contratada total (Mbps)	30,123	31,319	34,465	35,789
3	Clientes REDNACE (pago cero)	0	2	3	3
4	Capacidad contratada REDNACE (Mbps)	0	200	1160	1635
5	Porcentaje de reserva REDNACE (9%)	9%	9%	9%	9%
6	Capacidad de la reserva utilizada (Mbps)	0	200	1,160	1,635
7	Capacidad de la reserva por utilizar (Mbps)	45,000	44,800	43,840	43,365
8	Instituciones públicas atendidas por la REDNACE	0	14	17	21
Fuente: NOC Huachipa Elaboración: Dirección de Ingeniería de Operaciones (PRONATEL)					

En tabla 4, elaborado por dirección de Ingeniería de operaciones del PRONATEL, se muestra la capacidad contratada en Mbps por las diversas empresas portadoras, clientes de la RDNFO, que totalizan 35 789 Mbps; se aprecia que entre América Movil y Telefónica del Perú son las que contratan más del 50% del total.

Tabla 4

Capacidad contratada de la RDNFO, por empresas

N°	CLIENTES RDNFO	CAPACIDAD CONTRATADA (Mbps)
1	ADN TELECOM SAC	22
2	AMERICA MOVIL PERU SAC	10448
3	BANDEL S.A.C.	3
4	ENDEL PERU S.A.	5932
5	FIBERLUX SAC.	372
6	GILAT NETWORKS PERU S.A.	4927
7	GLOBAL FIBER PERU SAC	154
8	GTD PERU SAC	6
9	INFINITE SPEED TELECOMUNICACIONES S.A.C.	102
10	INGENYO S.A.C.	269
11	LATINCABLE S.R.L.	80
12	METADATOS S.A.C.	221
13	NEXNET S.A.C.	102
14	OPTICAL TECHNOLOGIES SAC	248
15	OROCOM S.A.C.	656
16	P Y D TELECOM S.R.L.	170
17	PLASMATRONICS CORPORATIONS S.A.C.	385
18	TELEFONICA DEL PERU S.A.A.	9083
19	VIETTEL PERU SAC	1322
20	WIRELESS COMMUNICATIONS S.A.C.	1213
21	YOFC PERU SAC	74
	<b>TOTAL</b>	<b>35,789</b>

Fuente: NOC Huachipa  
 Elaboración: Dirección de Ingeniería de Operaciones (PRONATEL).

## **Capítulo III. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN**

### **3.1 Análisis de las necesidades**

El avance y desarrollo de las TICs, vienen trastornando la vida diaria de las personas en particular, y de la sociedad en general, evolucionando la manera de comunicarse, documentarse, adquirir información, transmitir e impartir conocimiento, hacer uso o prestar un servicio e interactuar con su entorno.

El conjunto de los dispositivos electrónicos, equipos tecnológicos y los sistemas de informáticos, conforman las TICs, que se desarrollan por los avances científicos en informática y las telecomunicaciones, principalmente en áreas como la ingeniería, medicina, robótica, dispositivos móviles, ingeniería espacial, cibernética, las comunicaciones y sus redes, el internet, IoT y muchos más.

El Desarrollo de las TICs se basa en su permanente innovación y en mejoras sustanciales en la interconexión entre las diversas tecnologías, interactividad, velocidad, transversales a las actividades humanas,

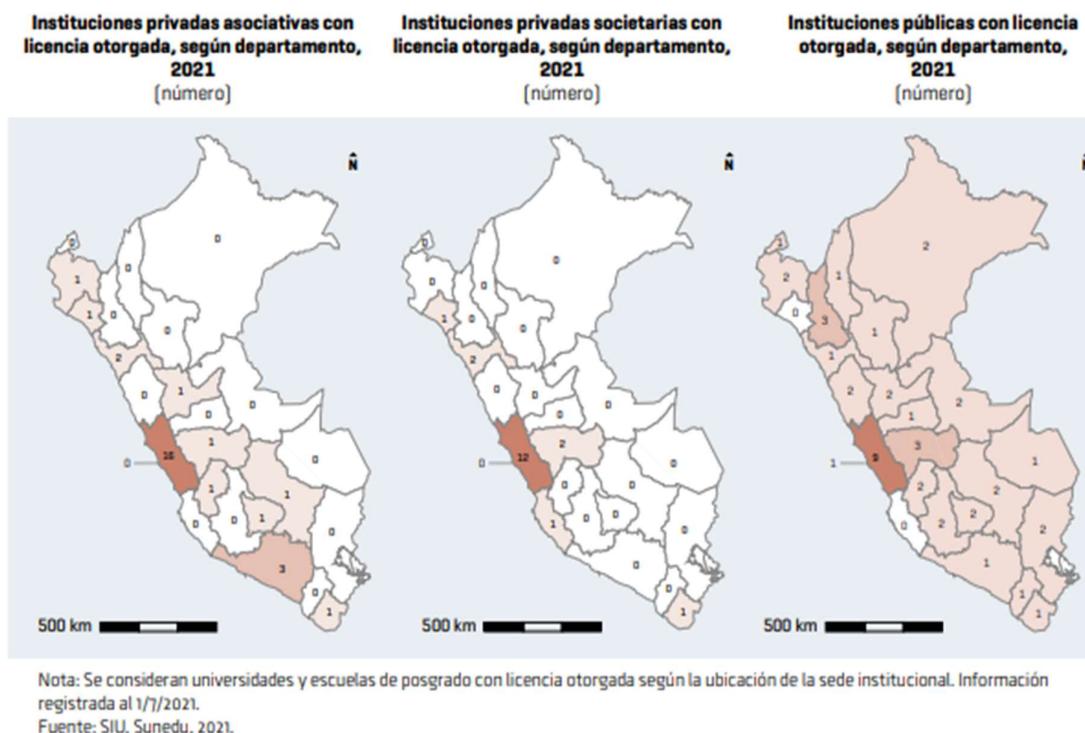
Las redes han permitido cada vez más transmitir mayores volúmenes de información, principalmente por mayor eficiencia en el almacenamiento en la nube, la Inteligencia Artificial, la nanotecnología, el computing network, y la computación cuántica, entre otros.

### **3.2 Situación Actual**

En el Perú la oferta de educación superior es amplia y centralizada, principalmente, en la capital de la región. En el ámbito universitario según su gestión se clasifican en: privada asociativa, privada societaria y pública, siendo en total 145 universidades licenciadas por SUNEDU, de las cuales 49 son públicas. La distribución de las universidades por región y según su gestión se muestra en la figura 11. gráfica elaborada por SUNEDU. (SUNEDU, 2021).

**Figura 11**

*Distribución, por región, de universidades licenciadas por SUNEDU*

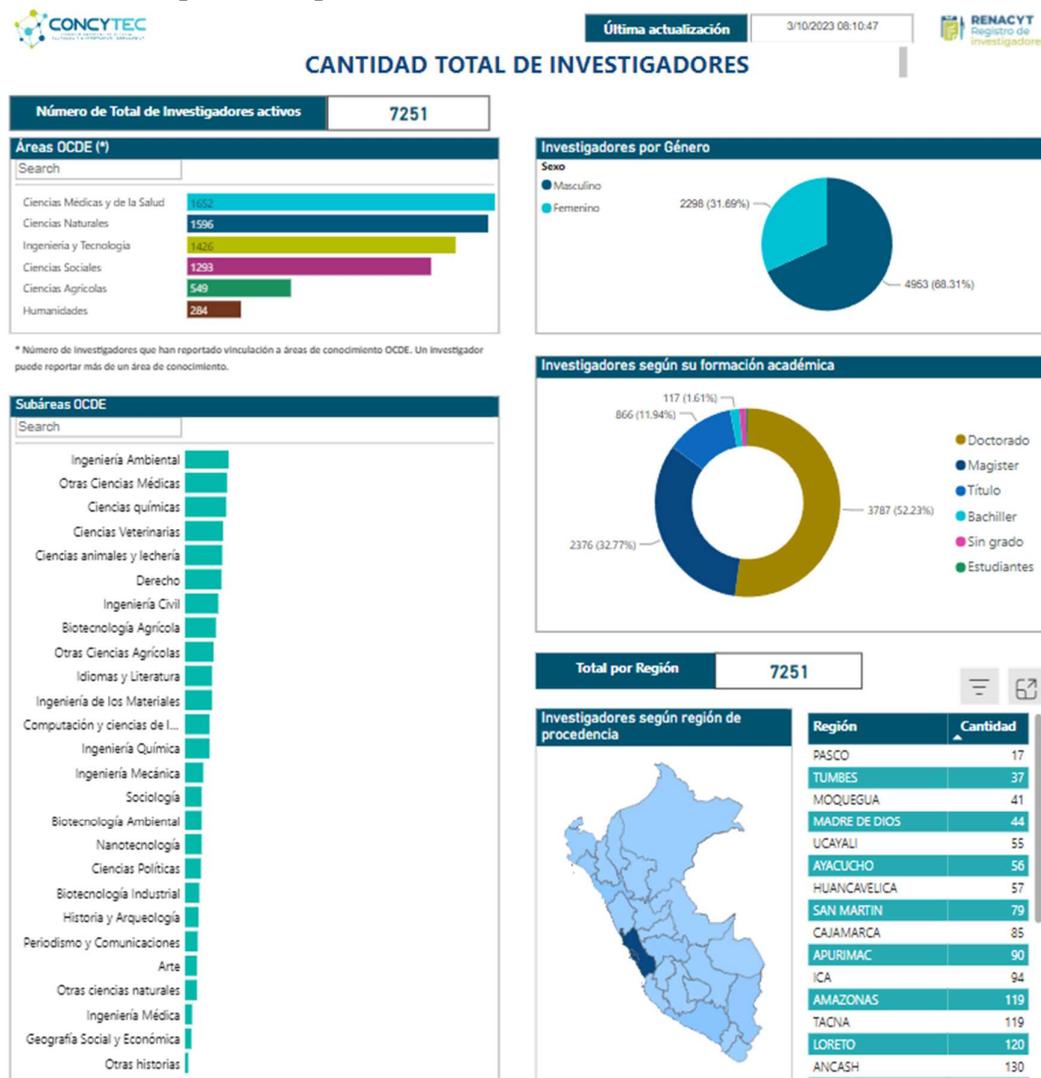


*Nota: Se consideran universidades y escuelas de posgrado con licencia otorgada de la sede institucional registrada a julio del 2021 -SUNEDU*

El CONCYTEC administra la base de datos de científicos peruanos, llega a registrar 7 251 investigadores en la última publicación de las estadísticas del Registro Nacional de Ciencia, Tecnología y de Innovación Tecnológica (RENACYT), mostrado en la figura 12, de los cuales el 31,69% (2 298) son de sexo femenino, siendo las investigaciones del área de Ciencias médicas y de la salud las que concentran 1 652 investigadores; según la formación académica de los investigadores, más del 52% son Doctores, un poco más del 32% son Magister, cerca al 12% son Titulados y el resto se distribuye en Bachilleres, sin grado y estudiante; Lima concentra 3 529 investigadores, seguida de Arequipa y La Libertad con 467 y 452 respectivamente, las región con menor cantidad de investigadores registrados es Pasco con 17, luego Tumbes que tiene 37; todas las regiones tienen registrados un grupo de investigadores. (RENACYT, 2023).

**Figura 12**

*Total de Investigadores según RENACYT*



Datos RENACYT – Plataforma Renacyt (concytec.gob.pe).

### 3.3 Proyecciones estimadas

#### a) Sector Académico Universitario.

Cómo se ha descrito en el Marco Teórico, la RNIE del Perú tiene como finalidad contar con una infraestructura de red avanzada de investigación y educación a nivel nacional, que se integre a las redes regionales y mundiales similares; red que viabilice la interconexión de la comunidad académica, científica y de investigación, en el marco de la Ley N° 29904.

En ese sentido, inicialmente se considera a las Universidades Públicas como las representantes de la comunidad académica, el requerimiento se enfoca en interconectar a las 49 universidades licenciadas a nivel nacional, cuya distribución se grafica en la figura 13.

**Figura 13**

*Distribución de universidades públicas por región, según SUNEDU*



*Adaptado de (III Informe Bienal sobre la realidad universitaria en el Perú – SUNEDU, 2021)*

**b) Sector Investigación**

En referencia al desarrollo de investigación, innovación y tecnología, el requerimiento se sustenta adicionando los institutos (40) e instituciones públicas (139) desarrolladoras, se tiene como base inicial a las subvencionadas por el CONCYTEC, de acuerdo a la figura 14, descritas en su Memoria Institucional 2019, las mismas que se encuentran en diferentes regiones del país. (CONCYTEC, 2019).

**Figura 14**

*Subvenciones por entidades ejecutoras, según CONCYTEC*

Subvenciones por entidades ejecutoras	
TIPO	NÚMERO
ENTIDADES PRIVADAS	360
ENTIDADES PÚBLICAS	139
PERSONAS NATURALES	287
PERSONAS JURÍDICAS	212
UNIVERSIDADES	151
EMPRESAS	10
INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN	40

Fuente: Memoria institucional CONCYTEC, 2019

### 3.4 Infraestructura disponible

La Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), es una red de transporte confiable de alta capacidad y velocidad, para el despliegue de la Banda Ancha a nivel nacional; integra a todas las capitales de provincias y distritos. (Poder Legislativo. 2012).

Compuesta por 136 nodos de conexión y 181 de distribución, incluye 22 nodos de agregación y 8 de core, se muestra en la figura 15, distribuidos jerárquicamente a nivel nacional mediante un despliegue de 13,636 Km cable Fibra Óptica de 48 hilos. (Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022).

La RDNFO utiliza tecnología DWDM, soporta 80 lambdas de 100 Gbps, compuesta por 4 segmentos de red, y utiliza el protocolo IP MPLS:

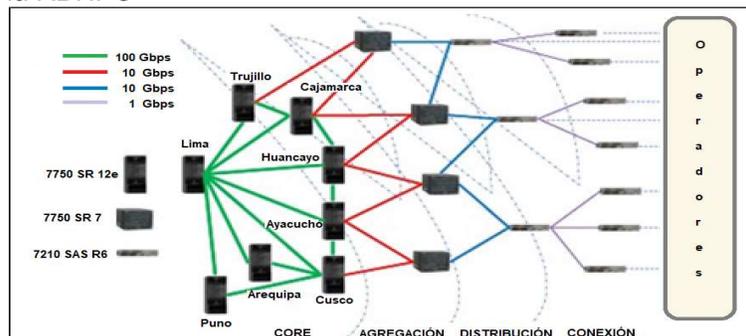
- ✓ Red de Core, con 5 anillos de 100 Gbps, cada uno.
- ✓ Red de Agregación a Core, con 10 Gbps de capacidad.
- ✓ Red de Distribución a Agregación, capacidad de 10 Gbps.
- ✓ Red de conexión a distribución, de 1 Gbps de capacidad.

(Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022).

La Red opera con tecnología DWDM en la capa física, utiliza el protocolo IP-MPLS y sistemas de Gestión NOC/SOC; la infraestructura que alberga los equipos de red depende del tipo nodo, implementada con sistemas de energía AC/AD, climatización, seguridad, control de accesos, todos con N+1. Son 16 tipos de infraestructura. (Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022).

**Figura 15**

*Estructura de la RDNFO*



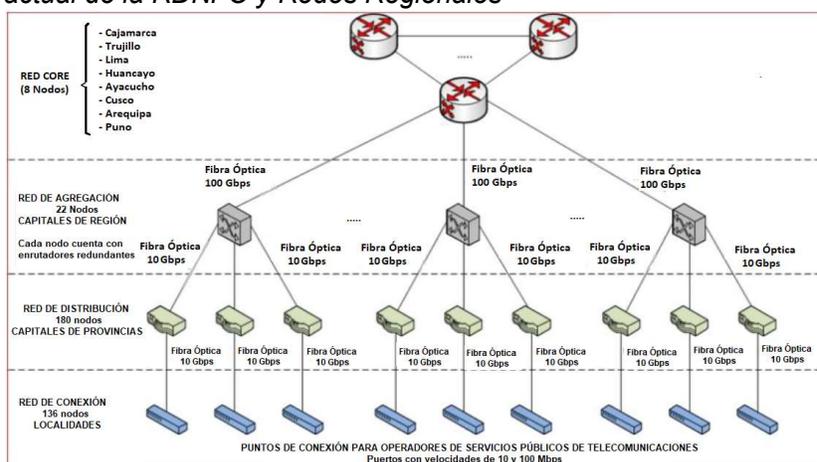
*Adaptado de (Informe final del Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022)*

La Red RDNFO requiere de un alto nivel en su O&M para garantizar, su funcionamiento con los niveles exigidos en todos sus enlaces. (Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022).

El Reglamento de la Ley 29904 define a las Redes Regionales, que forman parte de la RDNFO, como redes de transporte de alta capacidad, concesionadas a un operador neutro que no debe tener usuarios finales. La figura 16 muestra la estructura actual de la RDNFO y de las Redes Regionales.

**Figura 16**

*Estructura actual de la RDNFO y Redes Regionales*



*Adaptado de (Informe final del Grupo de Trabajo Sectorial RDNFO, 2022)*

### 3.5 Propuesta de Solución

La Propuesta que se plantea como mejor solución, que le permita a la comunidad académica y de investigación del país acortar distancias con las NRIEs de la región que se encuentran interconectadas con la RedCLARA, es hacer uso sólo de la infraestructura física de la RDNFO y no verse afectada por los diversos aspectos administrativos, políticos, comerciales y tecnológicos que permanentemente está sometida; además, por diversos análisis realizados por diversos organismos nacionales y del exterior, la infraestructura está subutilizada y no cumple con el fin para la cual fue concebida; el plantear una solución alterna y de proyección futurista, permitirá cambiar el modelo actual de la RDNFO y re conceptualizar el papel del estado en el desarrollo de la Comunidad Académica, Científica y de Investigación frente a su rol en el servicio de las telecomunicaciones; que ello requiere

un cambio de paradigmas y plasmarlo en legislación pertinente que les permita contar con una RNIE autónoma, con su propia operatividad y mantenimiento, así como ofrecer los mejores servicios que se encuentran al alcance de las redes avanzadas del continente y del mundo. Los sectores de la academia, científica y de investigación tienen la alta responsabilidad de hacerle frente a éste imprescindible, reto en resguardo del desarrollo de la Ciencia y Tecnología del país.

Entre las principales acciones a realizar, inicialmente, es la modificación del artículo 18 de la Ley 29904 en referencia al porcentaje de la capacidad de la RDNFO que está reservado para la REDNACE, para declarar de necesidad pública e interés nacional la construcción, operación y mantenimiento de la RNIE, que integre a las universidades nacionales e institutos de investigación a nivel nacional y utiliza la infraestructura física de las Redes Regionales y de la RDNFO, mediante, al menos, dos pares de hilos de fibra oscura y de las fibras donde el Estado Peruano tiene presencia de titularidad, a fin de hacer posible su conectividad con las redes avanzadas regionales y mundiales, que permita el desarrollo de la Ciencia y Tecnología del país,

El despliegue de una red avanzada de última generación, en el Perú, que se encuentre interconectada a las redes mundiales de investigación y desarrollo permitirá influenciar a la comunidad académica, científica y de investigación para que incremente su producción, se vincule con sus pares extranjeros y participe en desarrollos conjuntos con la comunidad internacional; y hacer uso de los servicios avanzados que ofrecen este tipo de redes.

La propuesta de la tesis, plantea que la mejor solución es diseñar, desarrollar e implementar una red de acceso y transporte mediante los medios físicos, tanto de la RDNFO y las redes regionales, debiéndose dar el marco legal que permita la implementación de la misma.

En el informe del Banco Mundial sobre “Escenarios y Modelos de Negocio para la RDNFO y Redes de Transporte Regionales”; analiza y plantea 3 modelos de negocio para asegurar que las inversiones realizadas se sostengan y sean eficientes, propone

estructurar la REDNACE y la RNIE, describe sus recursos disponibles de ser utilizados y planea dos esquemas de implementación de una red del Estado, con sus respectivas variantes; a) red de titularidad del Estado, con independencia de los operadores o utilizar alguna infraestructura de los operadores que tienen pasiva; b) red mixta, que utilice sobre las redes de titularidad del Estado su capacidad reservada, mediante la configuración de una VPN, y lambdas exclusivos o pares de fibra para la REDNACE. (Banco Mundial, 2020).

Definido el medio de transporte físico, es necesario considerar los avances actuales de la tecnología para el diseño de la red que vienen implantándose en las redes modernas; el esquema de redes convencionales que se popularizaron en las décadas pasadas pierde vigencia con los desarrollos vertiginosos que permiten controlar de manera ágil el enrutamiento, ser programable, con gestión centralizada, con ventajas en su mantenimiento y operación, así como ajustar eficientemente tráfico de datos, por ello la propuesta que permita ofrecer una red actualizada a la comunidad académica y de investigación, es implementar una red definida por software (SDN). De igual forma, la configuración del protocolo IPv6 se hace indispensable, más aún que a través de SDN se facilita su implementación.

### **3.6 Diseño de la Solución**

La propuesta del diseño, para solucionar la necesidad de instalar una red propia para la RNIE del Perú, se basa principalmente en las consideraciones planteadas en el acápite anterior; se tiene en cuenta también que el Banco Mundial lo plantea como una alternativa, con la diferencia que la solución es para toda la REDNACE, mientras que la propuesta es para el uso exclusivo de la RNIE; dado que se puede sustentar mejor el declararla de necesidad pública e interés nacional; permitiendo proveer a la comunidad científica, académica y de investigación de una red que contribuya en el desarrollo de la investigación, la ciencia y la tecnología, para el benéfico de la sociedad peruana.

En ese sentido la Red considera utilizar la infraestructura física de las Redes Regionales y de la RDNFO – El Banco Mundial en su segundo informe, plantea la integración de estas redes en una sola, que le denomina “Red Integrada de Banda Ancha

– RIBA”, así como los recursos de infraestructura física de titularidad del Estado que se dispone en diferentes operadores o entidades públicas o privadas; entre ellas están las siguiente: (Banco Mundial, 2020).

- El Perú tiene reservada para los servicios sociales, infraestructura o capacidad, de ciertas empresas por contratos de concesión.
- Según Ley de Banda Ancha y otras normativas; el Estado Peruano tiene reservados pares de fibra óptica en las líneas eléctricas de transmisión o de otras infraestructuras actuales o las que se implementen.
- En la red del Metro de Lima, se tiene una capacidad reservada
- La infraestructura local de fibra óptica o capacidad sobrante de empresas públicas, gobiernos locales - regionales, o de algunas entidades que han instalado para sus necesidades internas.

Se tiene como base el Core de la red RDNFO, y la posible integración con las Redes Regionales, para constituir la RIBA; se utiliza sus instalaciones inmobiliarias para alojar, instalar y operar el equipamiento de red necesaria para el funcionamiento de la RNIE; en esta propuesta se plantea constituir el Core de la RNIE siguiendo en parte la estructura de la RDNFO, se utiliza fibra oscura, con la variante que en Lima, además de instalar el conmutador se debe contar con el Controlador Central de la red SDN, así mismo se requiere de equipamiento adicional, como DWDM, que permita el crecimiento de la red; el sistema de gestión que permita operar y mantener la red así como personal calificado que permita constituir el NOC de la RNIE para su operación y dar solución a las incidencias presentadas, así como el agregador para su conexión a redes avanzadas.

Los institutos de investigación y las universidades públicas se conectan hacia su nodo regional, contrata la última milla a un proveedor local o por infraestructura de titularidad del Estado que se tenga a disposición. Podría considerarse, dentro de la oficialización que la RNIE es de interés nacional y de necesidad público, que la última milla es parte de la RNIE.

La instalación de la RNIE tiene como finalidad, además de interconectar a las universidades públicas e institutos de investigación, el conectarse a las redes académicas avanzadas del mundo, a través de conexión con la Red CLARA. Como se precisó en la topología actual de Red CLARA ésta tiene presencia tanto en Chile como en el Ecuador (países con PoP más cercanos a Perú), por lo que la interconexión sería por la frontera sur donde la RDNFO tiene presencia en Tacna y por el norte en la región Piura. Provincia de Ayabaca, distrito Suyo.

### **3.6.1 Arquitectura de la solución**

La propuesta del Diseño de la Red, considera instalar, en los locales de las Redes Regionales y la RDNFO, el equipamiento propio que adquiriría la RNIE para constituir una red SDN que utiliza fibra oscura se despliega a todas las regiones, según la estructura de la RDNFO. La Topología propuesta, visualizada en la figura 17, se basa en instalar el Controlador en el Data Center de la RDNFO así como el conmutador de la región Lima y los demás conmutadores se instalan uno en cada Región que pertenece al Core.

La conexión de cada nodo regional es redundante hacia dos conmutadores del Core de la RNIE, las instituciones universitarias y de investigación se conectan directamente al nodo de su región, mediante enlaces dedicados que pueden ser proporcionados por los portadores locales, o de ser el caso instalar o utilizar infraestructura existente de titularidad del Estado Peruano.

De acuerdo a la descripción anterior, graficada en la figura 18, la red se constituiría mediante las consideraciones y enlaces siguientes:

- En Lima se instala el controlador de la Red Definida por Software – SDN, y el conmutador que da acceso a las instituciones de la región Lima y de los enlaces de las regiones de Ancash y Huánuco, y la conexión redundante de las regiones de Pasco y Ucayali.
- El controlador de la RNIE en su core principal controla a los conmutadores instalados en Trujillo, Cajamarca, Ayacucho, Huancayo, Cusco, Puno y Arequipa.

- El controlador accede, a través de su core, a los conmutadores de las demás regiones del país.
- El conmutador de la región de la Libertad (Trujillo) además de dar acceso a las instituciones de su región, transporta datos de las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y permite el enlace redundante para el tráfico de datos de las regiones de Amazonas, San Martín e Iquitos.
- El conmutador de la región Cajamarca da acceso a las instituciones de la región y transporta datos de las regiones de Amazonas, San Martín e Iquitos, soporta además los enlaces redundantes de las regiones de Tumbes, Piura y Lambayeque.
- La región de Huancayo, mediante su conmutador da acceso las instituciones de su región y permite el tránsito de datos de la región de Pasco y Ucayali, y como acceso redundante a los datos provenientes de las regiones de Ancash y Huánuco.
- La región de Ayacucho transporta tráfico de datos de las regiones de Ica y Huancavelica, y para el enlace redundante de la región de Apurímac; así como el acceso de las instituciones de su entorno.
- Cusco transporta los datos de la región de Apurímac y el tráfico redundante de Ica y Huancavelica; y los provenientes del acceso de las instituciones de la región.
- El conmutador de la región Arequipa da acceso a las instituciones de la región y transporta datos de las regiones de Moquegua y Tacna; y soporta el enlace redundante de las regiones de Ica y Madre de Dios.
- El conmutador de la región Puno transporta datos de la región Madre de Dios, permite el tráfico redundante de las regiones de Moquegua y Tacna y da acceso a las instituciones de la región.
- En la Región Tacna se instala el conmutador que permite el transporte internacional de datos entre la Red CLARA y la RNIE; el conmutador se conecta mediante un enlace dedicado al conmutador principal de la RNIE y al punto de presencia que habilitaría Red CLARA en Chile.

- Se instala en el distrito de Suyo, provincia de Ayabaca de la Región de Piura, el conmutador que permite el transporte internacional de datos entre la Red CLARA y la RNIE; el conmutador se conecta mediante un enlace dedicado al conmutador principal de la RNIE y al punto de presencia que habilitaría Red CLARA en Ecuador.
- El despliegue de la RNIE, a través de los enlaces exclusivos destinados por la RDNFO para los fines de Investigación y Educación; se propone extender la tecnología SND para aprovechar con mayor eficiencia el transporte por fibra óptica, por lo que se instalará un controlador que se encargue del transporte óptico mediante DWDM, multiplexaje por división de longitud de onda densa.

**Figura 17**

*Topología propuesta de la RNIE*



*Elaboración propia*

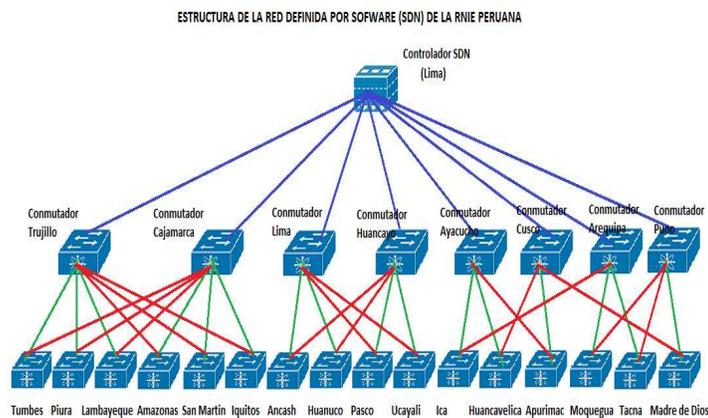
- De igual manera debe instalar un firewall y considerar los avances en las diferentes reglas de abstracción y virtualización en cada capa de la comunicación de la red SDN.
- Para dar servicios a los miembros de la RNIE y todas las comunidades de las redes avanzadas se debe disponer de un servidor de aplicaciones, que permita ofrecer la RNIE como servicio y aprovechar los desarrollos de las redes definidas por software.

- Los enlaces internacionales con la Red REUNA (Chile) y CEDIA (Ecuador) se realizarían a 10Gbps, así como con la REDNACE, como se grafica en la figura 19.

Adicionalmente se debe considerar, para efectos de adecuación de la legislación de funcionamiento de la RNIE, que a través de la Red CLARA se puede obtener acceso a Internet, como servicio adicional al acceso principal a las redes académicas de Latinoamérica y del mundo; debiéndose diferenciar el tráfico de datos a cada una de estas redes, más aun, de requerirse el flujo de datos tanto de IPv4 e IPv6; dependiendo de las características de entrega de datos provenientes de Internet, por parte de RedCLARA, se debe de proveer a la RNIE de equipamiento de seguridad y firewall.

**Figura 18**

*Topología SDN para la RNIE*



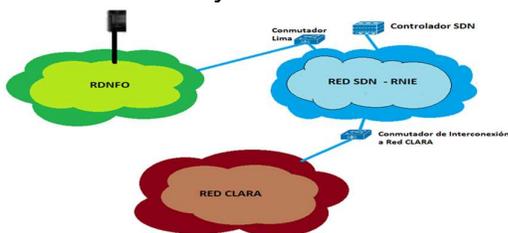
*Elaboración propia*

La RNIE como parte de REDNACE se debe conectar, cursando tráfico de datos a través del conmutador de la región Lima, ubicado en el Data Center de la RDNFO.

Por la RNIE se cursa tráfico nativo de IPv4 e IPv6 por lo se implementaría una de las técnicas de coexistencia de ambos protocolos; en esta propuesta plantea utilizar el Dual Stack debido a no utilizar el túnel MPLS y principalmente porque permite de manera muy directa ejecutar IPv4 y IPv6 simultáneamente, para su coexistencia muy flexible. Al implementar esta técnica es necesario que las interfaces de todos los dispositivos de red se les asigne una dirección IPv4 y una dirección IPv6.

**Figura 19**

*Interconexión de la RNIE con REDNACE y RedCLARA*



*Elaboración propia*

### **3.6.2 Numeración y configuración IPv6**

La propuesta del Diseño de la RNIE contempla utilizar IPv6 en la red SDN, para ello se debe contar con un bloque de direcciones IPv6 para poder ejecutar un Plan de Direccionamiento a ser distribuido a las instituciones que conformen la RNIE.

Los bloques de direcciones son otorgados por LACNIC, que es el organismo encargado de asignar y administrar los recursos de numeración IPv4 y IPv6 y Sistemas Autónomos para América Latina y Caribe. En los años de funcionamiento de la Red Académica Peruana, LACNIC le asignó y registró el bloque de direcciones IPv6: 2001:13A0::/32 con su respectivo ASN.

La Red CLARA tiene asignado un bloque de direcciones IPv6, que las distribuye entre las Redes Académicas de la región, a la RNIE Peruana le correspondería uno de los bloques que distribuye Red CLARA.

El bloque de direcciones IPv6 que Red CLARA tiene asignado es el: 2001:1348::/32 y según su Plan de direccionamiento le asigna a cada RNIEs un bloque de direcciones con el rango: 2001:1348:1XX3::/48.

Se considera la asignación para la RNIE Peruana, del bloque de direcciones: 2001:1348:1003::/48, se propone el Plan de direccionamiento descrito en la tabla 5

El Plan de direccionamiento contempla las siguientes consideraciones:

- Los 2 bits más significativos se utilizan para representar a las 3 zonas geográficas en las que se a subdividido el territorio del Perú: Norte, Centro y Sur. Se muestra en la figura 20 la división geográfica del Perú, en 3 zonas, las mismas que en abarcan a

determinadas regiones que incluyen a los centros de investigación y universidades de su área geográfica.

- La región Centro incluye Lima, Lima Provincias y las Regiones ubicadas geográficamente en el centro del territorio peruano, Ancash, Huánuco, Pasco, Junín y Ucayali.

**Tabla 5**

*Plan de Direccionamiento IPv6*

RED CLARA	2001:1348::/32
Dirección IPv6 asignado para la RNIE	2001:1348:1XX3::/48
	2001:1348:1003::/48
Formato de Distribución de Direcciones (INSTITUCIÓN)	2001:1348:1003:zztd dddd::/56
<b>zz : Zona Geográfica (Región)</b>	
Lima	= 00
Lima / Centro	= 01
Norte	= 10
Sur	= 11
<b>t : Tipo de Institución</b>	
Pública	= 0
Privada	= 1
<b>d dddd : Institución (32)</b>	
UNMSM	= 0 0001
UNI	= 0 0010
UNALM	= 0 0011
PUCP	= 0 0001
UPCH	= 0 0010

*Elaboración Propia*

- A esta región se le reserva los dígitos (zz) 00 y 01.
- A la región Norte que incluye a Tumbes, Lambayeque, Piura, La Libertad, Amazonas, Cajamarca, Loreto y San Martín se le asigna la combinación de bits: 10.
- Apurímac, Huancavelica, Ica, Ayacucho, Cusco, Madre de Dios, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno, comparten el rango 11 de los bits destinados para la zona sur.
- El siguiente bit (t) se destina para especificar si la institución a la que se le asigna el bloque de direcciones IPv6 es de origen público o privada. Se considera que en un principio la RNIE concentrará a las instituciones públicas, pero su finalidad es dar soporte a todas las instituciones del país cuya actividad es la investigación científica-

tecnológica y/o la educación, así como la innovación; por lo que se hace necesario tener esta previsión.

- A las instituciones públicas se le asigna el dígito 0 y a las privadas en bit 1.
- Los siguientes 5 bits que completan el octeto, están separados para especificar a la institución a la cual se le asigna el rango de direcciones IPv6.
- Se debe considerar que en este Plan de Direccionamiento se consideran tanto a las instituciones educativas, como a los centros de investigación científica, tecnológica y de innovación. Las direcciones IP asignadas, según el plan se muestran en las tablas 6 y 7.
- Desarrollar un plan de direccionamiento para las instituciones que forman parte de la RNIE, principalmente al sector universitario que despliegan el bloque asignado de direcciones IPv6 a su interior, según sus facultades y/o centros de investigación.

**Figura 20**

*Regiones y Universidades por Zona de distribución de IPv6*



*Elaboración propia*

**Tabla 6**

*Direcciones IPv6 – Universidades Públicas*

ZONA	Cod. Tipo	INSTITUCION	DIRECCION IPv6	UNIVERSIDAD	LUGAR		
1	00	0	00001	2001:1348:1003:01XX::/56	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	LIMA	Lima
2	00	0	00010	2001:1348:1003:02XX::/56	Universidad Nacional de Ingeniería	LIMA	Rimac
3	00	0	00011	2001:1348:1003:03XX::/56	Universidad Nacional Agraria La Molina	LIMA	La Molina
4	00	0	00100	2001:1348:1003:04XX::/56	Universidad Nacional Federico Villarreal	LIMA	Lima
5	00	0	00101	2001:1348:1003:05XX::/56	Universidad Nac. de Educ. Enrique Guzmán y Valle	LIMA	Chosica
6	00	0	00110	2001:1348:1003:06XX::/56	Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión	LIMA	
7	00	0	00111	2001:1348:1003:07XX::/56	Facultad de Teología Pontificia y Civil de Lima	LIMA	
8	00	0	00112	2001:1348:1003:08XX::/56	Universidad Nacional del Callao	LIMA	Callao
9	01	0	00113	2001:1348:1003:51XX::/56	Universidad Nacional del Santa	ANCASH	Santa
10	01	0	00114	2001:1348:1003:52XX::/56	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo	ANCASH	Huaraz
11	01	0	00115	2001:1348:1003:53XX::/56	Universidad Nacional Agraria de La Selva	HUANUCO	
12	01	0	00116	2001:1348:1003:54XX::/56	Universidad Nacional Hermilio Valdizán	HUANUCO	
13	01	0	00117	2001:1348:1003:55XX::/56	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión	PASCO	
14	01	0	00118	2001:1348:1003:56XX::/56	Universidad Nacional del Centro del Perú	JUNN	Huancayo
15	01	0	00119	2001:1348:1003:57XX::/56	Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa	JUNN	Chanchamayo
16	01	0	00120	2001:1348:1003:58XX::/56	Universidad Nacional Autónoma Alboandina de Tarma	JUNN	Tarma
17	01	0	00121	2001:1348:1003:59XX::/56	Universidad Nacional de Ucayali	UCAYALI	Coronel Portillo
18	01	0	00122	2001:1348:1003:5AXX::/56	Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía	UCAYALI	Coronel Portillo
19	10	0	00123	2001:1348:1003:81XX::/56	Universidad Nacional de Tumbes	TUMBES	
20	10	0	00124	2001:1348:1003:82XX::/56	Universidad Nacional de Piura	PIURA	
21	10	0	00125	2001:1348:1003:83XX::/56	Universidad Nacional de Frontera	PIURA	Sullana
22	10	0	00126	2001:1348:1003:84XX::/56	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	LAMBAYEQUE	
23	10	0	00127	2001:1348:1003:85XX::/56	Universidad Nacional de Trujillo	LA LIBERTAD	
24	10	0	00128	2001:1348:1003:86XX::/56	Universidad Nacional Ciro Alegría	LA LIBERTAD	Sanchez Carrión
25	10	0	00129	2001:1348:1003:87XX::/56	Universidad Nacional de Cajamarca	CAJAMARCA	
26	10	0	00130	2001:1348:1003:88XX::/56	Universidad Nacional de Jaén	CAJAMARCA	Jaén
27	10	0	00131	2001:1348:1003:89XX::/56	Universidad Nacional Autónoma de Chota	CAJAMARCA	Chota
28	10	0	00132	2001:1348:1003:8AXX::/56	Univ. Nac. Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas	AMAZONAS	Chachapoyas
29	10	0	00133	2001:1348:1003:8BXX::/56	Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua	AMAZONAS	Bagua
30	10	0	00134	2001:1348:1003:8CXX::/56	Universidad Nacional de San Martín	SAN MARTIN	San Martín
31	10	0	00135	2001:1348:1003:8DXX::/56	Universidad Nacional de la Amazonia Peruana	IQUITOS	Maynas
32	10	0	00136	2001:1348:1003:8EXX::/56	Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas	IQUITOS	Alto Amazonas
33	11	0	00137	2001:1348:1003:C1XX::/56	Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de Ica	ICA	
34	11	0	00138	2001:1348:1003:C2XX::/56	Universidad Nacional de Huancavelica	HUANCAVELICA	
35	11	0	00139	2001:1348:1003:C3XX::/56	Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo	HUANCAVELICA	Tayacaja
36	11	0	00140	2001:1348:1003:C4XX::/56	Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga	AYACUCHO	Huamanga
37	11	0	00141	2001:1348:1003:C5XX::/56	Universidad Nacional Autónoma de Huanta	AYACUCHO	Huanta
38	11	0	00142	2001:1348:1003:C6XX::/56	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac	APURIMAC	Abancay
39	11	0	00143	2001:1348:1003:C7XX::/56	Universidad Nacional José María Arguedas	APURIMAC	Andahuaylas
40	11	0	00144	2001:1348:1003:C8XX::/56	Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco	CUSCO	Cusco
41	11	0	00145	2001:1348:1003:C9XX::/56	Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba	CUSCO	La Convención
42	11	0	00146	2001:1348:1003:CAXX::/56	Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios	MADRE DE DIOS	
43	11	0	00147	2001:1348:1003:CBXX::/56	Universidad Nacional de San Agustín	AREQUIPA	
44	11	0	00148	2001:1348:1003:CCXX::/56	Universidad Nacional del Altiplano	PUNO	Puno
45	11	0	00149	2001:1348:1003:CDXX::/56	Universidad Nacional de Juliaca	PUNO	San Román
46	11	0	00150	2001:1348:1003:CEXX::/56	Universidad Nacional de Moquegua	MOQUEGUA	Mariscal Nieto
47	11	0	00151	2001:1348:1003:CFXX::/56	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	TACNA	

*Elaboración propia*

**Tabla 7****Direcciones IPv6 – Institutos de Investigación**

N°	ZONA	Cod. Tipo	INSTITUCION	DIRECCION IPv6	Entidad	LUGAR	
1	00	0	01011	2001:1348:1003:0BXX::56	Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial-CONIDA	LIMA	
2	00	0	01100	2001:1348:1003:0CXX::56	Instituto Antártico Peruano-IAP	LIMA	
3	00	0	01101	2001:1348:1003:0DXX::56	Instituto Geográfico Nacional-IGN	LIMA	
4	00	0	01110	2001:1348:1003:0EXX::56	Instituto del Mar del Perú-IMARPE	LIMA	CALLAO
5	00	0	01111	2001:1348:1003:0FXX::56	Instituto Geofísico del Perú-IGP	LIMA	
6	00	0	10000	2001:1348:1003:10XX::56	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET	LIMA	
7	00	0	10001	2001:1348:1003:11XX::56	Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI	LIMA	
8	00	0	10010	2001:1348:1003:12XX::56	Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria-INIEA	LIMA	
9	00	0	10011	2001:1348:1003:13XX::56	Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones	LIMA	
10	00	0	10100	2001:1348:1003:14XX::56	Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA	LIMA	
11	00	0	10101	2001:1348:1003:15XX::56	Instituto Nacional de Salud-INS	LIMA	
12	00	0	10110	2001:1348:1003:16XX::56	Instituto Peruano de Energía Nuclear-IPEN	LIMA	
13	00	0	10111	2001:1348:1003:17XX::56	Instituto Tecnológico Pesquero-ITP	LIMA	CALLAO
14	00	0	11000	2001:1348:1003:18XX::56	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI	LIMA	
15	00	0	11001	2001:1348:1003:19XX::56	Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA	LIMA	
16	00	0	11010	2001:1348:1003:1AXX::56	Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásticas	LIMA	

*Elaboración propia.*

### 3.6.3 Configuración red SDN

Como se ha propuesto, la RNIE se configura mediante una Red Defina por Software (Software Defined Networking - SDN), se tienen varias opciones para implementarla, según los desarrollos realizados a partir de la concepción de éste tipo de red. Cómo se ha descrito en el capítulo anterior, SND se concibe con una arquitectura de flujo abierto (Open Flow), que permita controlar a los conmutadores independiente de la marca o fabricante, aun así, varios fabricantes han desarrollado arquitecturas propietarias a partir de la concepción de la arquitectura SND de flujo abierto.

En esa perspectiva, han sementado la SDN para el control de conmutación, el control del transporte y el control de acceso; según el fabricante los niveles de control se implementan de manera centralizada, hibrida o distribuida considerando la forma como esta tecnología, en los centros de datos, brinda los servicios de red para mejorar su respuesta a los requerimientos de alta complejidad.

Los equipos de red, conmutadores, controladores y propiamente el software de control vienen evolucionando según la implementación para la producción de estas redes, permiten cada vez más inteligencia en la red, en su automatización, programación, flexibilidad; por lo que no se puede predecir el avance tecnológico a desarrollarse en los próximos años, tanto en seguridad como de acceso y el avance en el IoT.

La propuesta considera instalar en el Data Center de la RDNFO el Controlador de la RNIE, el cual es el encargado de controlar a todos los conmutadores de las diferentes regiones, gestiona el tráfico de los mismos y mediante la arquitectura propuesta en el diseño de la RNIE.

Como se ha planteado el Core de la RNIE, considera la misma topología desplegada por la RDNFO, en este caso estará compuesto por, además del conmutador de la región Lima, el cual también se ubica en el Data Center de RDNFO, por los conmutadores de las regiones de Trujillo, Cajamarca, Huancayo, Cusco, Ayacucho, Puno y Arequipa, los mismos que son gestionados para que permitan el transporte de datos de sus propias instituciones y de las instituciones sus regiones anexas.

El acceso de cada una de las instituciones al conmutador principal de la región se realiza mediante su convencional conmutador institucional a través de un enlace de preferencia dedicado, rentado a un operador local o de ser posible por los canales de propiedad del estado o los que tenga a su disponibilidad de uso.

Existen diferentes softwares para el protocolo SDN, propietarios y de flujo libre; así mismo se han producido equipos implementados con protocolos propietarios y otros que operan con OpenFlow, en algunos casos de los mismos fabricantes; de los Controladores que soportan OpenFlow se muestran en la figura 21. (Lysko, 2018).

**Figura 21**

*Controladores SDN que soportan OpenFlow*

CARACTERÍSTICAS	CONTROLADOR					
	RYU	OpenDayLigth	ONOS	BEACON	POX	NOX
Soporte	OpenFlow v1.0/v1.3	OpenFlow v1.0/v1.4	OpenFlow v1.0/v1.3	OpenFlow v1.0	OpenFlow v1.0	OpenFlow v1.0
Plataforma	Linux	Linux, Mac OS, Windows	Linux	Linux, Mac OS, Windows	Linux, Mac OS, Windows	Linux
Código abierto	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Lenguaje	Python	Java	Java	Java	Python	C++
API	SI	Si	Si	No	No	No
Interfaz gráfica	Web	Web	Web	Web	Python + QT4	Python + QT4
Licencia	Apache 2.0	EPL	Apache 2.0	GPLv2, Stanford FOSS	GPL	GPL
Fuente	NTT Communications	OpenDayLigth	ON.Lab	Stanford University	ICSI	ICSI

*Adaptado de (Nuñez, A., 2015)*

El controlador es muy importante para el diseño de la red SDN y la selección tiene relevancia por las características que ofrece, así como su estabilidad y el soporte disponible, también su entorno de virtualización de red que permitirá crear dinámicamente redes virtuales, su capacidad de enrutamiento, capacidad de escalabilidad, programación de red, soporte de varias plataformas y confiabilidad en establecer rutas de origen – destino, entre otras.

Existen varias versiones de OpenFlow, algunos fabricantes han desarrollado alternativas en su reemplazo; ultimamente se ha liberado la versión 1.5.1, siendo la mas estable y de mayor uso la versión 1.3 que soporta IPv6.

Para efectos de la propuesta se considera del uso de Controladores como RYU, OpenDayLight u ONOS; hay que considerar que OpenDayLight es desarrollado por Cisco e IBM, y ONOS permite el soporte de clustering para controladores a fin de tener redundancia en el mayor nivel de la red.

Con la propuesta del diseño de la arquitectura de red, y con el uso de un software de simulación, se configura la red SDN de la RNIE para constatar su funcionamiento y verificar el flujo de datos, evaluar la capacidad de programación, flexibilidad en el transporte de datos.

Existen varias plataformas de simulación de redes SDN, que utilizan el Open Flow, así como plataformas propietarias de usan su propio software de control o el Open Flow. Entre los simuladores están: GNS-3, EstiNet, Mininet, entre otros, Cisco utiliza el Packet Tracer para sus redes propietarias.

Para este caso se realizará la simulación con el Mininet, en un entorno de Ubuntu 20.04; se instala Ubuntu en una computadora de AMD64, posteriormente se instala el software suficiente y necesario que permita realizar la simulación; Mininet está desarrollado en el lenguaje de programación Python, permite ejecutar programas realizados en otros lenguajes, entre ellos Java. (Díaz, 2022).

Para ejecutar Mininet en el sistema operativo Linux, Ubuntu 20.04, se debe instalar las aplicaciones imprescindibles, entre ellas:

- Las herramientas que permitan ver las configuraciones de red: net-tools
- Instalación del acceso al repositorio GitHub, que contiene los desarrollos de aplicaciones a disposición de la comunidad de desarrolladores.
- Con GitHub clonar el código fuente de Mininet, luego seleccionar la versión 2.3.0d5.
- Instalación del Mininet
- Ejecución del Mininet y verificar su funcionamiento.
- Activación del Miniedit, plataforma de interfaz gráfica que permite el diseño gráfico de la topología de la red definida por software.
- Comprobación de la versión disponible de Python y ejecutar Mininet.  
(Córdova, 2019).

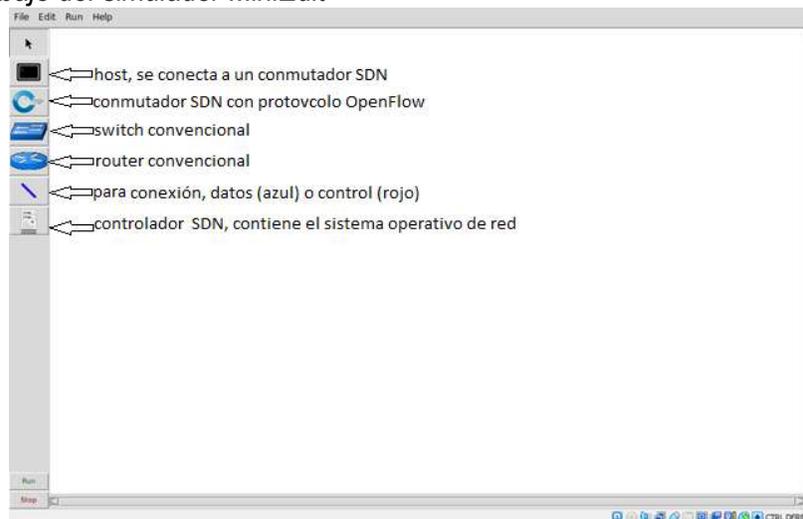
#### a) Simulación con Miniedit

En la figura 22 se muestra el área de trabajo que presenta el simulador Mininet cuando se ejecuta para emular la red SDN.

Miniedit dispone de controladores (c) con sistema operativo de SDN y conmutadores OpenFlow o SDN. Remotamente se puede asociar a la SDN con varios tipos de sistemas operativos de red como RYU, OpenDayLight, ONOS.

**Figura 22**

*Área de trabajo del simulador MiniEdit*



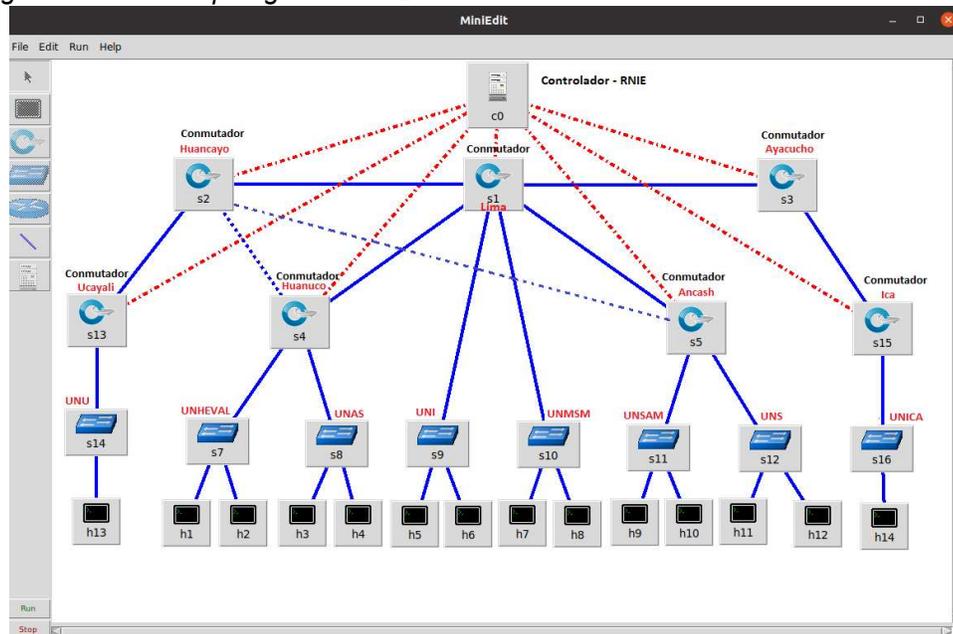
*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

En el simulador se implementa una parte significativa de la RNIE, y se considera el conmutador de la Región Lima, que permite el acceso a las Instituciones de UNMSM y UNI, la conexión a las regiones que transporta datos de las regiones Ica y Pasco, quienes dan acceso a sus instituciones como la Universidad Nacional de San Luis Gonzaga - UNICA y la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión - UNDAC, respectivamente. Se consideran los conmutadores de Huancayo y Ayacucho quienes transportan los datos de las regiones de Ucayali y Apurímac, soporta los encales redundantes de las regiones de Pasco e Ica, respectivamente, como se aprecia en la figura 23.

A cada conmutador regional se le asigna dos hosts por institución conectados a la SDN mediante un switch convencional que tenga dual stack.

**Figura 23**

*Configuración de la Topología de RNIE en el simulador*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

Se constata la configuración inicial en los hosts, de algunas instituciones, que tengan instaladas las direcciones IPv4 e IPv6.

Se selecciona el host (h1) de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de la región Huánuco obteniéndose los siguientes datos:

h1-eth0:

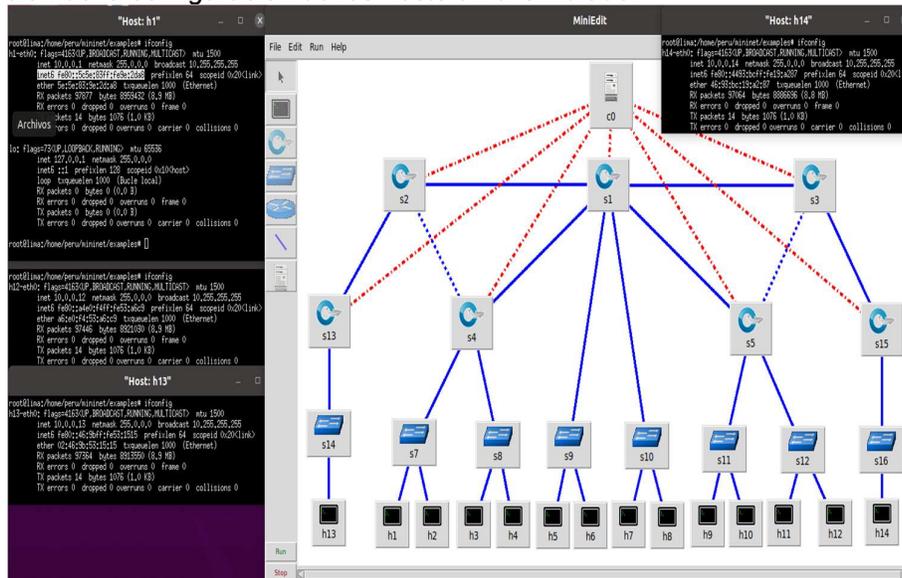
```
inet 10.0.0.1 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
```

```
inet6 fe80::5c5e:83ff::fe9e:2da8 prefixlen 64
```

```
ether a6:e0:f4:53:a6:c9
```

**Figura 24**

*Verificación de la configuración de los hosts en el simulador*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

Siendo h1-eth0 la interface del host (h1) de la UNHEVA, para el host h2 será h2-eth0, así continuamente.

La Dirección 10.0.0.1 pertenece a una dirección IPv4 y la dirección correspondiente a IPv6 es fe80::5c5e:83ff;fe9e:2da8, siendo direcciones por defecto configuradas por el simulador.

También se obtienen datos del host h12 correspondiente a una computadora de Universidad Nacional del Santa de la región de Ancash, obteniéndose los siguientes datos:

h12-eth0:

```
inet 10. 0. 0. 12 netmask 255. 0. 0. 0 broadcast 10. 255. 255. 255
```

```
inet 6 fe80::a4e0:f4ff;fe53:a6c9 prefixlen 64
```

```
ether a6:e0:f4:53;a6:c9
```

Para el host h13 correspondiente a una PC de Universidad Nacional de Ucayali de la región de Ucayali, se obtiene:

```
h13-eth0:
inet 10.0.0.13 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
inet 6 fe80::46:9bff:fe53:1515 prefixlen 64
ether 02:46:9b:53:15:15
```

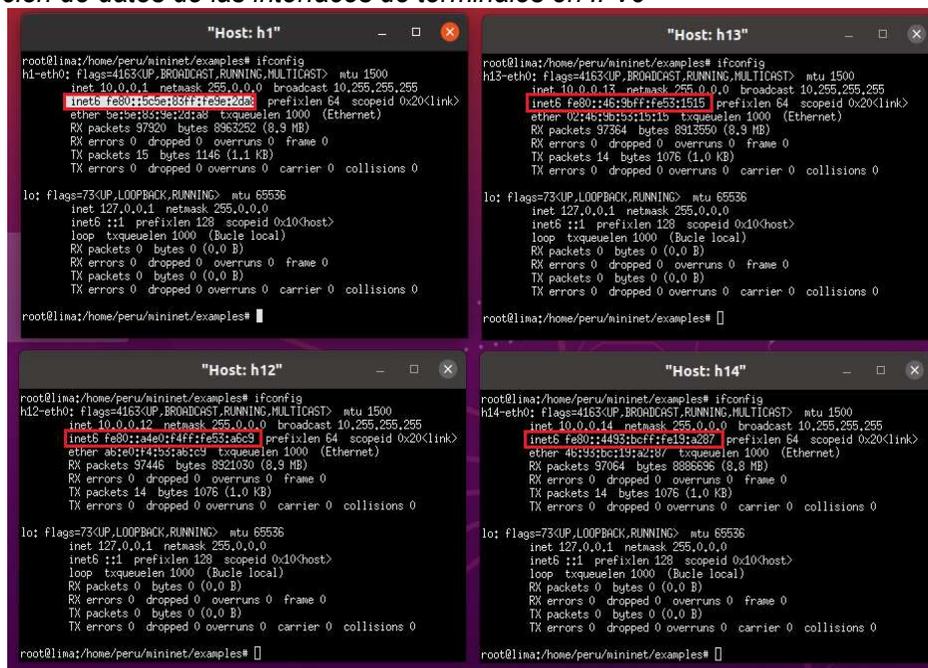
Los datos obtenidos para el host h14 que pertenecen a una máquina de la Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de la región de Ica, obteniéndose los siguientes datos:

```
h14-eth0:
inet 10.0.0.14 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
inet 6 fe80::4493:bcff:fe19:a287 prefixlen 64
ether 46:93:bc:19:a2:87
```

Las figura 24 y 25 muestran los datos obtenidos, constatándose la habilitación de transmisión de datos IPv6.

**Figura 25**

*Obtención de datos de las interfaces de terminales en IPv6*



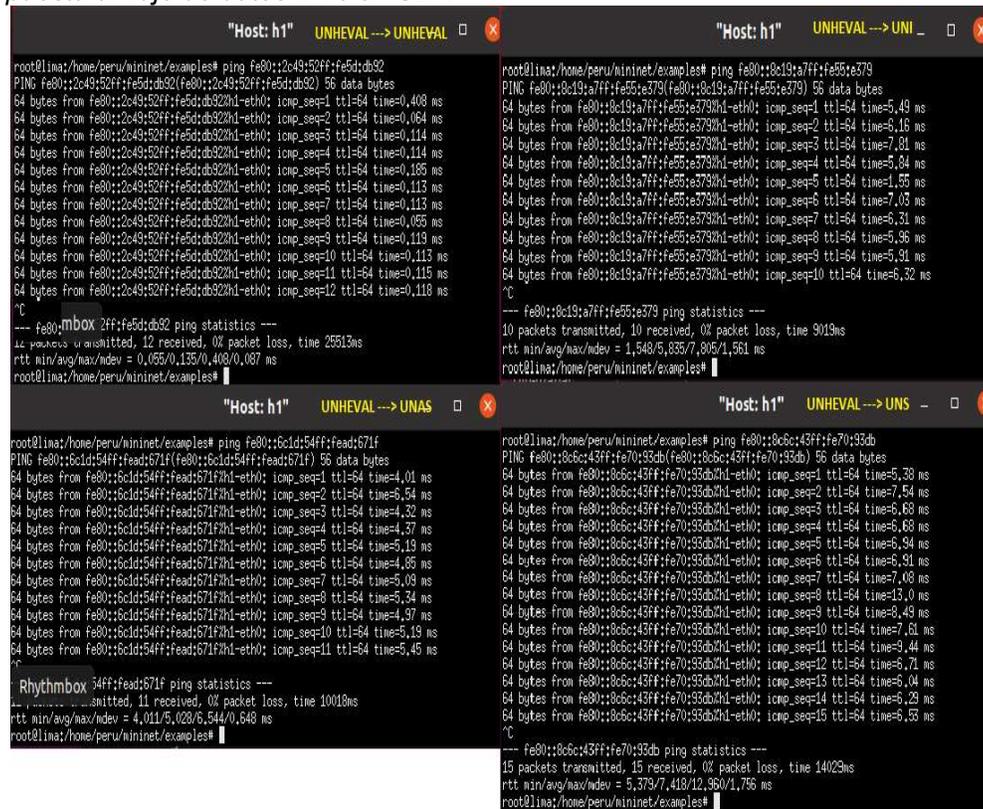
*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

Para verificar la conexión entre los equipos de la red, se realizó envío de paquetes mediante el uso del comando ping, entre varios hosts, localizados en diferentes regiones, inicialmente se realizó con los enlaces principales y posteriormente se consideró la caída de un enlace, para constatar la continuidad de la transmisión de datos por el enlace redundante. La respuesta al flujo de datos de muestra en la figura 26.

Desde el equipo de la UNHEVAL se ejecutan ping a hosts ubicados en la misma UNHEVAL, la Universidad Nacional Agraria de la Selva, la UNI y la UNS, obteniéndose los siguientes resultados.

**Figura 26**

*Respuesta al flujo de datos IPv6 en SDN*

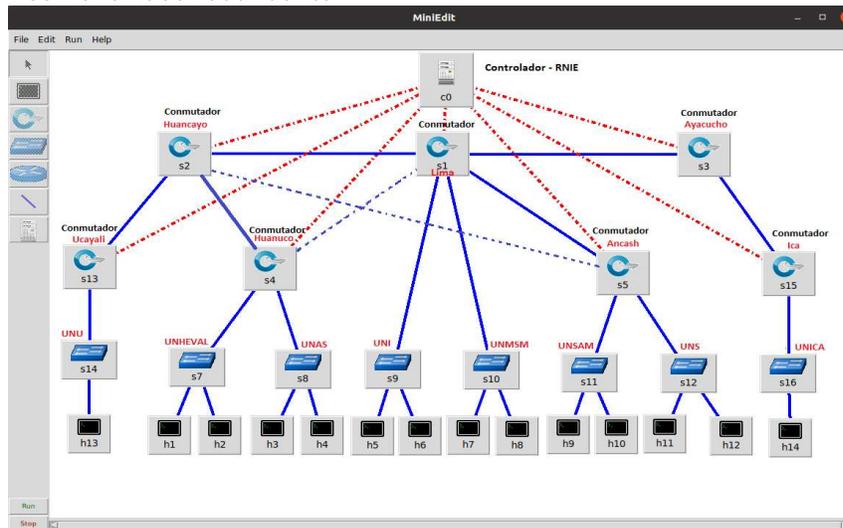


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

Posteriormente se simuló la pérdida de conexión entre el conmutador de la región de Huánuco y el conmutador de Lima, y se realizó una transferencia de paquetes entre la UNHEVAL (h1) y la UNI (h6), obteniéndose los resultados de las figuras 27 y 28.

**Figura 27**

*Simulación con el enlace redundante*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

**Figura 28**

*Verificación del flujo de datos IPv6 por el enlace redundante*

```
"Host: h1" UNHEVAL ---> UNI
root@lima:/home/peru/mininet/examples# ping fe80::8c19:a7ff:fe55:e379
PING fe80::8c19:a7ff:fe55:e379(fe80::8c19:a7ff:fe55:e379) 56 data bytes
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=1 ttl=64 time=8.65 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=2 ttl=64 time=11.3 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=3 ttl=64 time=7.30 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=4 ttl=64 time=6.91 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=5 ttl=64 time=7.21 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=6 ttl=64 time=11.4 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=7 ttl=64 time=6.85 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=8 ttl=64 time=7.33 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=9 ttl=64 time=7.00 ms
64 bytes from fe80::8c19:a7ff:fe55:e379%h1-eth0: icmp_seq=10 ttl=64 time=15.3 ms
^C
--- fe80::8c19:a7ff:fe55:e379 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9019ms
rtt min/avg/max/mdev = 6.851/8.923/15.312/2.695 ms
root@lima:/home/peru/mininet/examples#
```

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

### **b) Wireshark con MiniEdit**

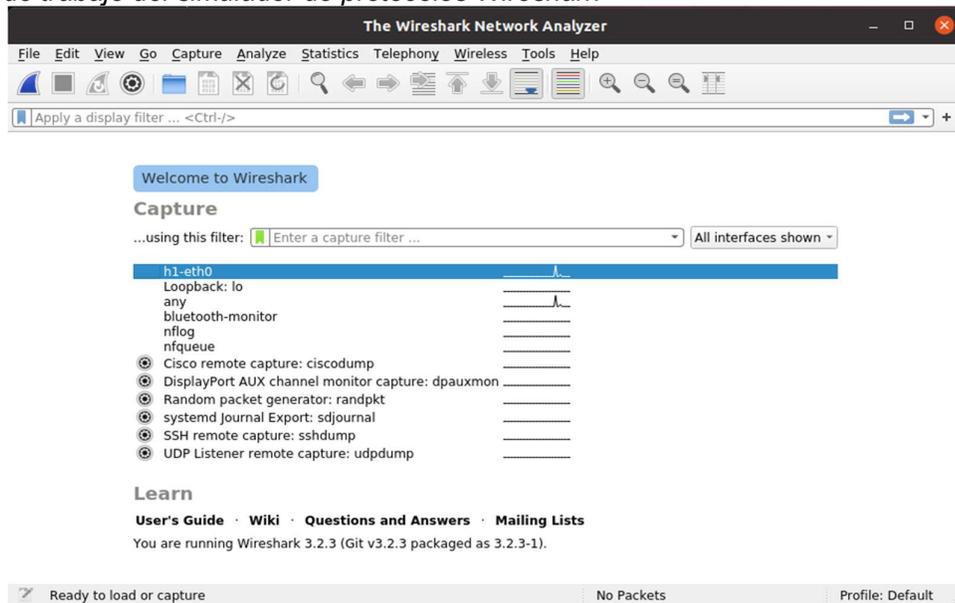
Wireshark es un analizador de protocolos que se activa desde MiniEdit, que permite analizar el funcionamiento de los planos de control y de datos.

Se utiliza desde todos los terminales (host) para analizar los datos que circulan entre el host y el conmutador SDN.

La simulación se realiza en el host h1 (UNHEVAL), para ello se activa el analizador de protocolos (Wireshark) desde este computador que se visualiza en la figura 29

**Figura 29**

*Área de trabajo del simulador de protocolos Wireshark*



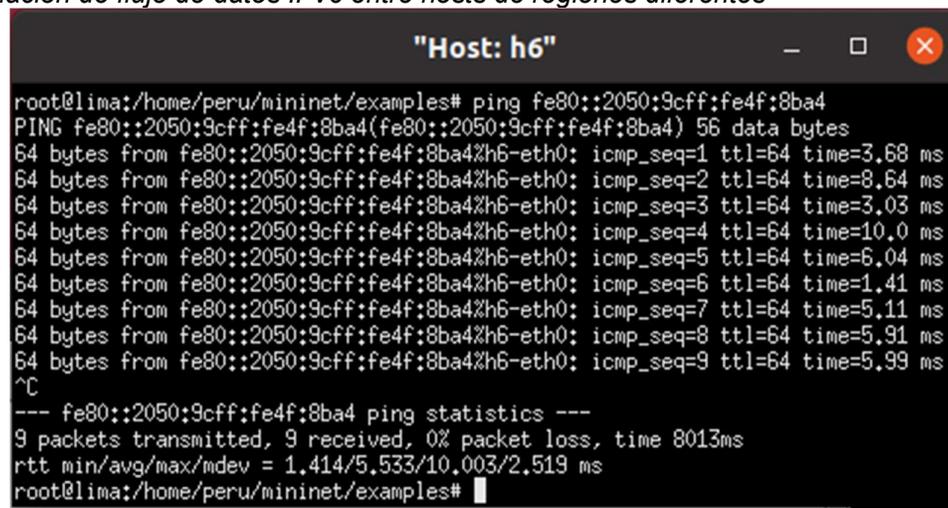
*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

Se selecciona la interface h1-eth0 para analizar, se realiza la captura de datos.

Con el fin de generar datos hacia la interface del host h1, se realiza desde otro terminal el comando ping hacia el host h1. En este caso desde una PC de la UNI (h6) se realiza un ping hacia h1, el resultado se muestra en la figura 30.

**Figura 30**

*Simulación de flujo de datos IPv6 entre hosts de regiones diferentes*

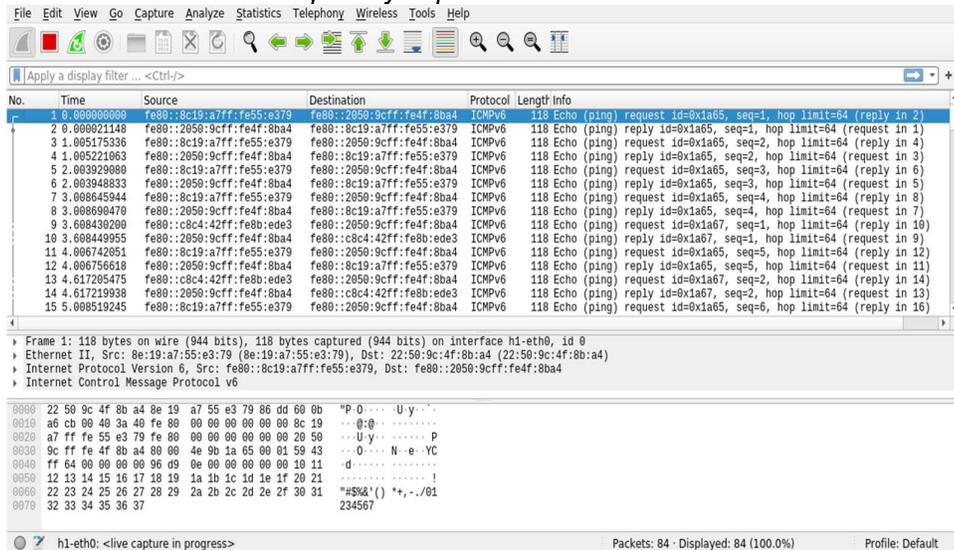


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)*

En la plataforma Wireshark, se obtiene la figura 31.

**Figura 31**

*Flujo de datos entre los hosts que fluyen por el conmutador*

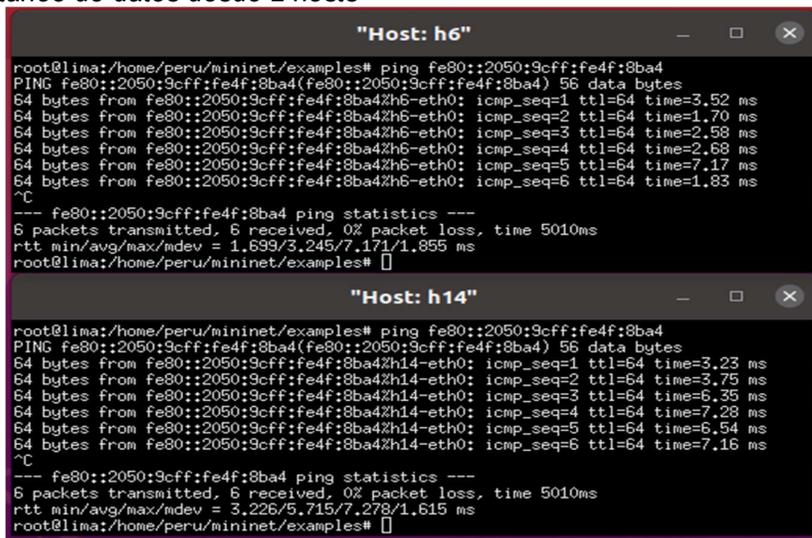


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

Para incrementar del volumen de tráfico de datos en la interface del host h1, se ejecuta simultáneamente desde el host h6 (UNI) y del host h14 (UNICA) el comando ping hacia el host h13 (UNHEVAL), se obtiene el flujo de datos que se muestra en la figura 32 y la figura 33 es el resultado del simulador Wireshark.

**Figura 32**

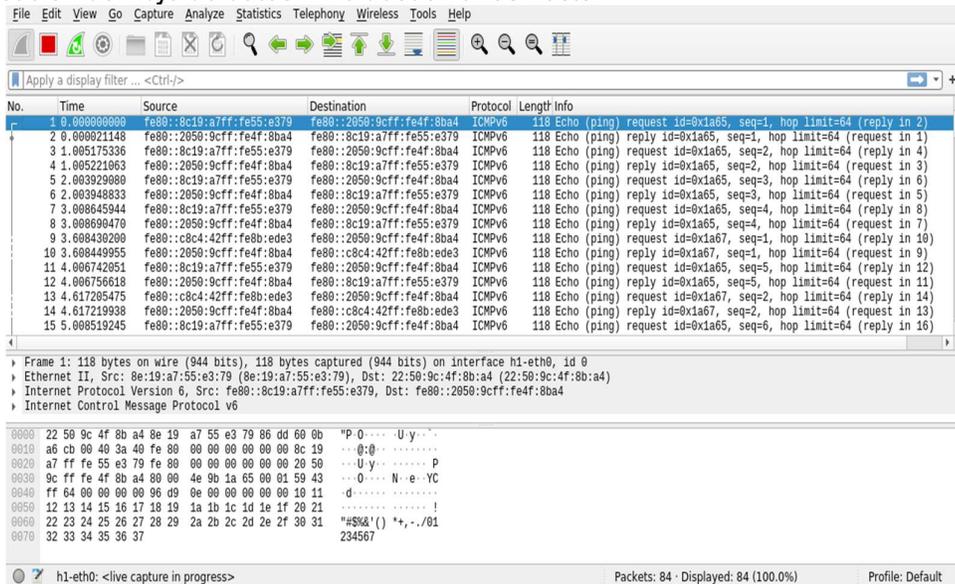
*Flujo simultaneo de datos desde 2 hosts*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)*

Figura 33

Verificación del flujo de datos IPv6 desde varios hosts.

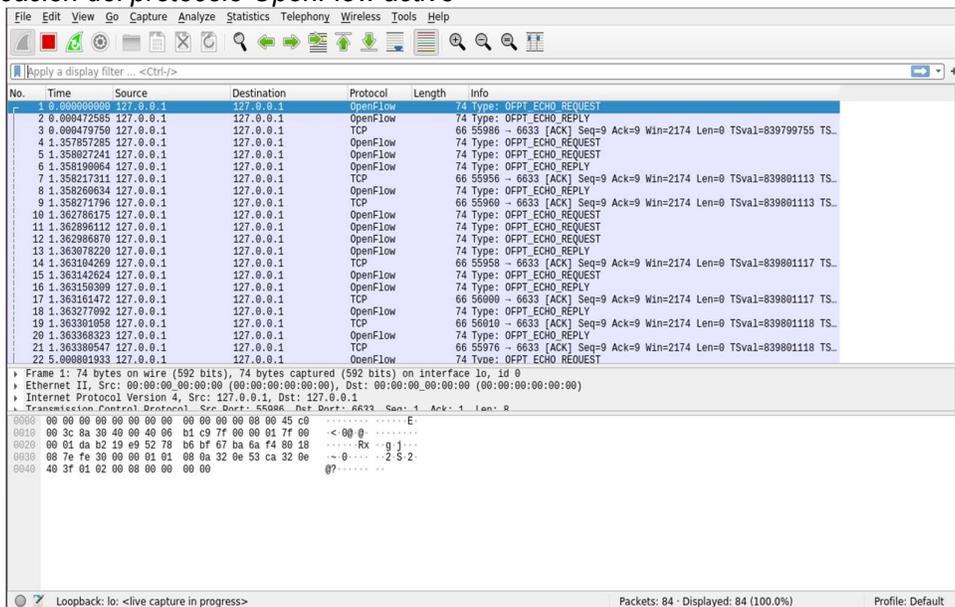


Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)

Para determinar si el protocolo OpenFlow se encuentra activo, la captura de mensajes se realiza entre el Controlador con los conmutadores SND que forman la red SDN; se muestra en las figuras 34, 35 y 36.

Figura 34

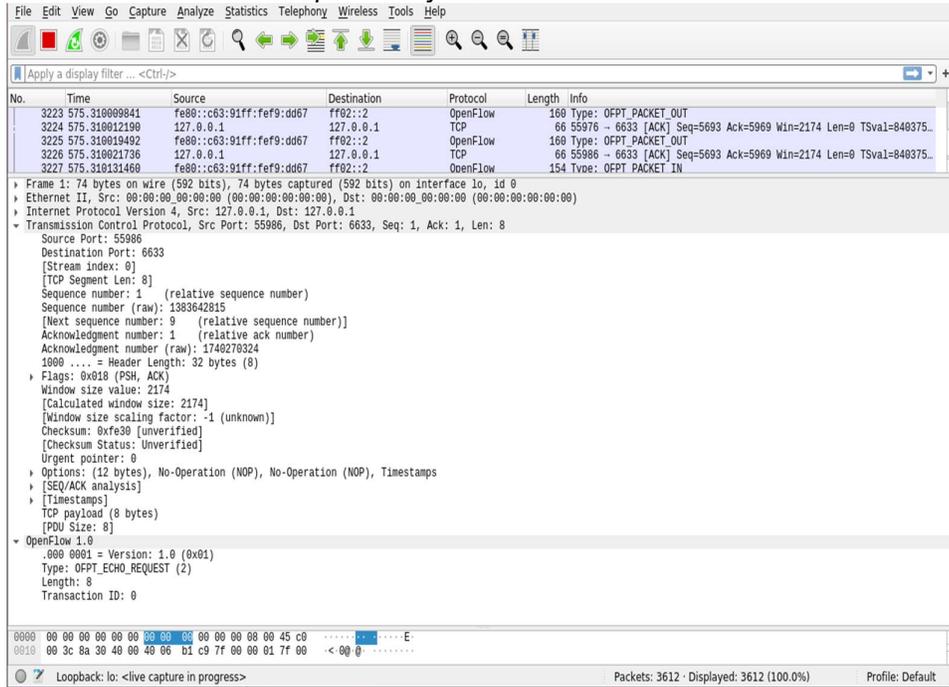
Verificación del protocolo OpenFlow activo



Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)

Figura 35

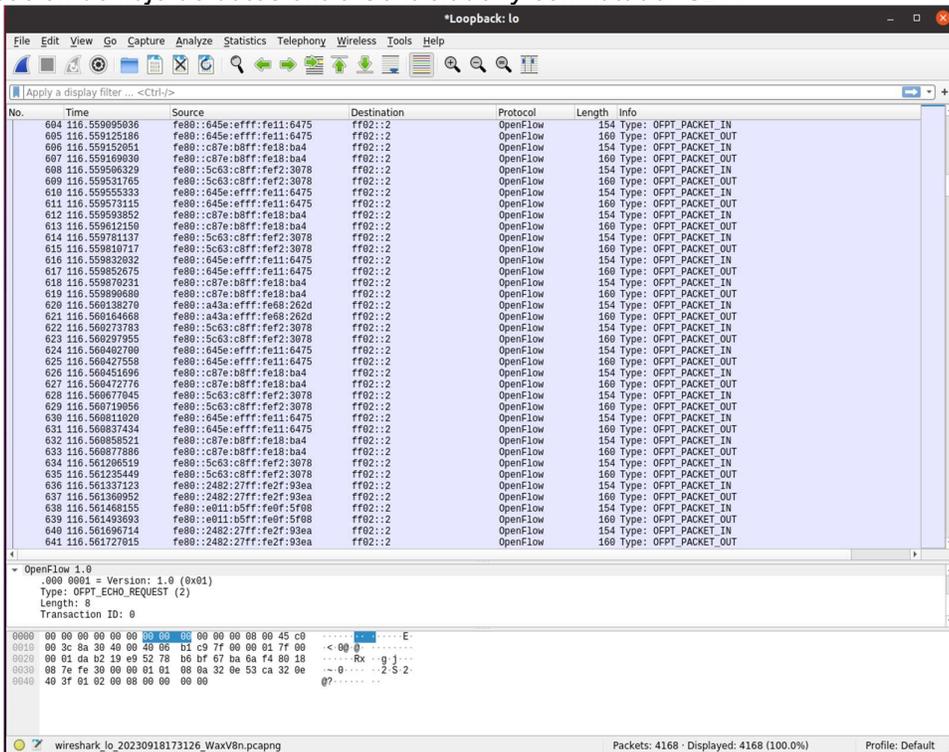
Flujo de datos IPv6 mediante OpenFlow y TCP



Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)

Figura 36

Verificación de flujo de datos entre Controlador y conmutador SDN



Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)

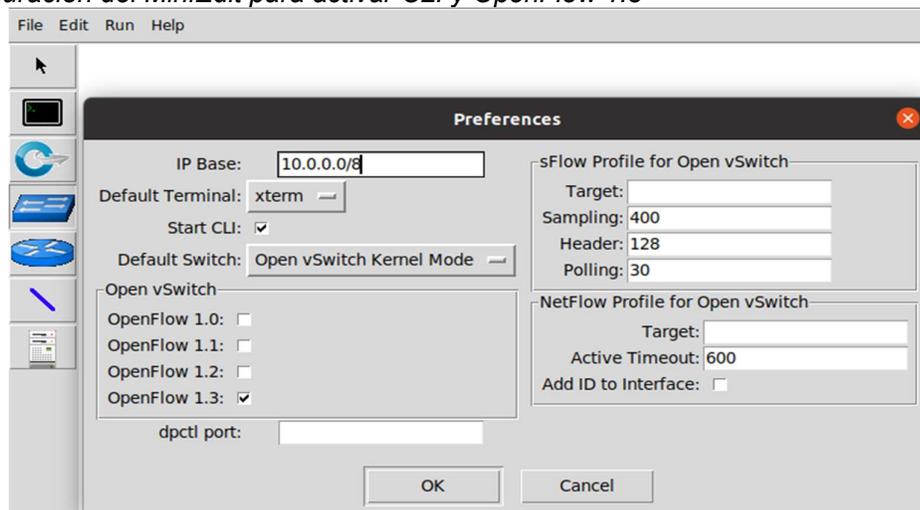
### c) Simulación con RYU en MiniEdit

RYU es un controlador SDN compatible con OpenFlow, que recibe órdenes desde aplicaciones SDN para enviarlas a los conmutadores SDN; desarrollado en Python y permite el desarrollo de nuevas aplicaciones de control y administración.

Desde la ventana del Miniedit, se ingresa la topología que se está simulando, y se configura la interface activándose el comando de línea CLI, el protocolo OpenFlow 1.3 como se aprecia en la figura 37, y en controlador activar la opción Remote Controller, que se muestra en la figura 38; se realiza el comando pingall, figura 39, para verificar conectividad en toda la red.

**Figura 37**

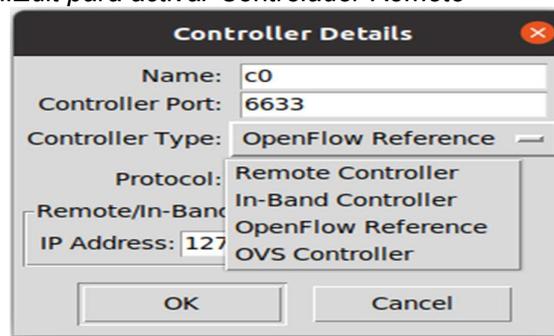
*Configuración del MiniEdit para activar CLI y OpenFlow 1.3*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

**Figura 38**

*Configuración del MiniEdit para activar Controlador Remoto*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador MiniEdit, 2023)*

**Figura 39**

*Flujo de datos para verificar la activación del Controlador Remoto*



```
peru@lima: ~/mininet/mininet/examples
mininet> pingall
*** Ping: testing ping reachability
h1 -> h2 X h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h2 -> h1 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h3 -> h1 h2 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h4 -> h1 h2 h3 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h5 -> h1 h2 h3 h4 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h6 -> h1 h2 h3 h4 h5 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h7 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h8 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h9 h10 h11 h12 h13 h14
h9 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h10 h11 h12 h13 h14
h10 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h11 h12 h13 h14
h11 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h12 h13 h14
h12 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h13 h14
h13 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h14
h14 -> h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13
*** Results: 0% dropped (181/182 received)
mininet>
```

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)*

### **d) Simulación con Flowmanager de RYU**

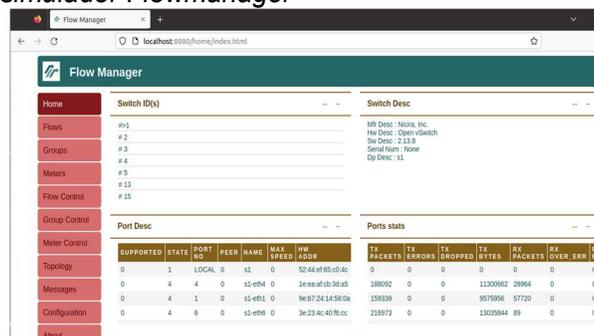
Flowmanager es una aplicación que soporta OpenFlow y permite administrar el control de flujo desde la capa de aplicación del modelo SDN, accede al Controlador RYU, conoce su estado y realiza reconfiguraciones de la red, se cumple con la característica de programabilidad de SDN.

Flowmanager permite realizar varias acciones sobre las tablas de flujo, tablas de grupo y medidores copia y restauración de tablas de conmutador; ver topología de red, entre otras aplicaciones.

Luego de instalar Flowmanager y definir la topología para simular se utiliza MiniEdit debidamente configurado (siempre se utiliza la misma topología en el simulador), se debe ingresar desde un navegador de Internet a la dirección: localhost:8080/home/index.html; muestra su área de trabajo, como se visualiza en la figura 40, al ingresar a la opción Topology del menu, muestra la figura 41.

**Figura 40**

*Área de trabajo del simulador Flowmanager*

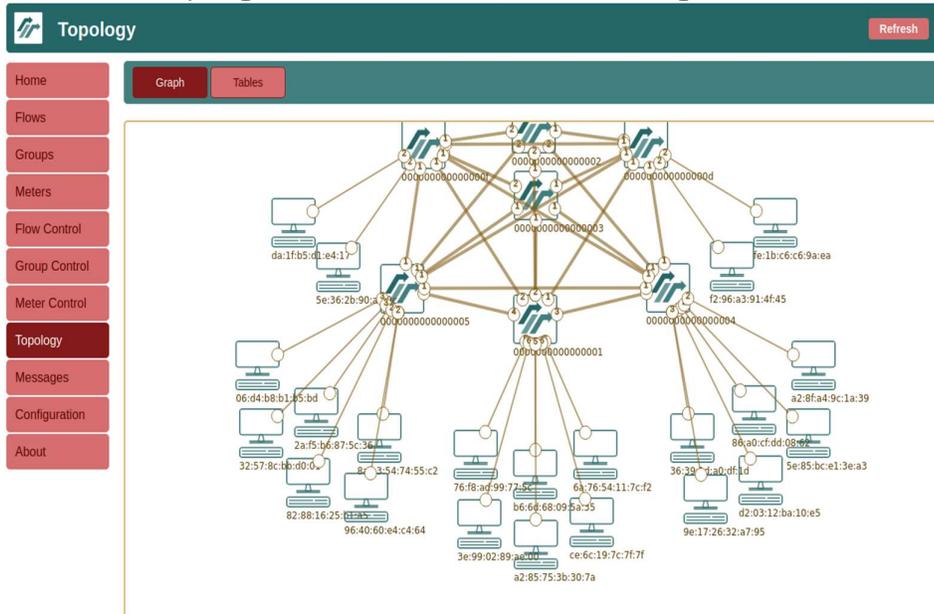


SUPPORTED	STATE	PORT ID	PEER NAME	MAX SPEED	HW ADDR	Tx PACKETS	Tx ERRORS	Tx DROPPED	Tx BITES	Rx PACKETS	Rx OVER	Rx ERR	
0	1	LOCAL	0	0	92:44:ef:65:c5:4c	0	0	0	0	0	0	0	
0	4	4	0	0	sl-eth4	0	100000	0	11300662	28964	0	0	
0	4	1	0	0	sl-eth1	0	963724	1458	0	9679956	57720	0	
0	4	6	0	0	sl-eth6	0	3e23:4c:40:9a:cc	218973	0	0	13039844	89	0

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Flowmanager, 2023)*

**Figura 41**

Visualización de la topología activa de la RNI, en Flowmanager



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Flowmanager, 2023)*

En la opción “Tables”, permite visualizar la actividad de los switches (conmutadores) y la conexión que tienen con sus respectivos host; los datos que brinda se muestra en la figura 42.

**Figura 42**

Actividad entre conmutadores y hosts

The screenshot shows the 'Tables' view in Flowmanager. The navigation menu is the same as in Figure 41, with 'Tables' selected. The main area displays JSON data under the heading 'Switches'. Below it, there is a section for 'Links'.

```
Switches
[[{"dpid": "0000000000000001", "ports": [{"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000004", "hw_addr": "1e:ea:af:cb:3d:a5", "name": "s1-eth4"}, {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000001", "hw_addr": "9e:b7:24:14:58:0a", "name": "s1-eth1"}, {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000006", "hw_addr": "3e:23:4c:40:f6:cc", "name": "s1-eth6"}, {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000005", "hw_addr": "6e:c8:77:09:a5:9c", "name": "s1-eth5"}, {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000002", "hw_addr": "46:24:8a:47:22:b9", "name": "s1-eth2"}, {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000003", "hw_addr": "72:4f:70:5d:65:32", "name": "s1-eth3"}, {"dpid": "0000000000000002", "ports": [{"dpid": "0000000000000002", "port_no": "00000001", "hw_addr": "5a:b5:2d:0f:c8:0f", "name": "s2-eth1"}, {"dpid": "0000000000000002", "port_no": "00000002", "hw_addr": "6e:c2:80:33:b2:31", "name": "s2-eth2"}, {"dpid": "0000000000000003", "ports": [{"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000001", "hw_addr": "5a:b3:6f:42:12:b1", "name": "s3-eth1"}, {"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000002", "hw_addr": "06:8c:9e:0e:d2:95", "name": "s3-eth2"}, {"dpid": "0000000000000004", "ports": [{"dpid": "0000000000000004", "port_no": "00000001", "hw_addr": "9e:97:7e:c0:61:d8", "name": "s4-eth1"}, {"dpid": "0000000000000004", "port_no": "00000002", "hw_addr": "4e:e0:fa:08:ee:d5", "name": "s4-eth2"}, {"dpid": "0000000000000004", "port_no": "00000003", "hw_addr": "0a:4c:8c:c4:30:50", "name": "s4-eth3"}, {"dpid": "0000000000000005", "ports": [{"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "32:84:ed:80:d2:fd", "name": "s5-eth1"}, {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "5e:ff:9c:fd:0e:16", "name": "s5-eth2"}, {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000003", "hw_addr": "12:f3:ee:05:c8:7f", "name": "s5-eth3"}, {"dpid": "0000000000000005", "ports": [{"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "12:96:12:da:6e:2d", "name": "s13-eth1"}, {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "de:99:b3:92:2d:1a", "name": "s13-eth2"}, {"dpid": "0000000000000005", "ports": [{"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "c2:ad:fb:15:a0:b0", "name": "s15-eth1"}, {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "6e:85:e2:b0:c5:c0", "name": "s15-eth2"}]]]

Links
[[{"src": {"dpid": "0000000000000002", "port_no": "00000002", "hw_addr": "6e:c2:80:33:b2:31", "name": "s2-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000001", "hw_addr": "9e:b7:24:14:58:0a", "name": "s1-eth1"}, {"src": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000001", "hw_addr": "9e:b7:24:14:58:0a", "name": "s1-eth1"}, "dst": {"dpid": "0000000000000002", "port_no": "00000002", "hw_addr": "6e:c2:80:33:b2:31", "name": "s2-eth2"}, {"src": {"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000001", "hw_addr": "5a:b3:6f:42:12:b1", "name": "s3-eth1"}, "dst": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000002", "hw_addr": "46:24:8a:47:22:b9", "name": "s1-eth2"}, {"src": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000002", "hw_addr": "46:24:8a:47:22:b9", "name": "s1-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000001", "hw_addr": "5a:b3:6f:42:12:b1", "name": "s3-eth1"}, {"src": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000003", "hw_addr": "72:4f:70:5d:65:32", "name": "s1-eth3"}, "dst": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000006", "hw_addr": "3e:23:4c:40:f6:cc", "name": "s1-eth6"}, {"src": {"dpid": "0000000000000001", "port_no": "00000002", "hw_addr": "46:24:8a:47:22:b9", "name": "s1-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000001", "hw_addr": "5a:b3:6f:42:12:b1", "name": "s3-eth1"}, {"src": {"dpid": "0000000000000003", "port_no": "00000002", "hw_addr": "06:8c:9e:0e:d2:95", "name": "s3-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000004", "port_no": "00000001", "hw_addr": "9e:97:7e:c0:61:d8", "name": "s4-eth1"}, {"src": {"dpid": "0000000000000004", "port_no": "00000002", "hw_addr": "4e:e0:fa:08:ee:d5", "name": "s4-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "32:84:ed:80:d2:fd", "name": "s5-eth1"}, {"src": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "5e:ff:9c:fd:0e:16", "name": "s5-eth2"}, "dst": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000003", "hw_addr": "12:f3:ee:05:c8:7f", "name": "s5-eth3"}, {"src": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "12:96:12:da:6e:2d", "name": "s13-eth1"}, "dst": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "de:99:b3:92:2d:1a", "name": "s13-eth2"}, {"src": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000001", "hw_addr": "c2:ad:fb:15:a0:b0", "name": "s15-eth1"}, "dst": {"dpid": "0000000000000005", "port_no": "00000002", "hw_addr": "6e:85:e2:b0:c5:c0", "name": "s15-eth2"}]]]
```

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Flowmanager, 2023)*

Se configuran los hosts de acuerdo a las direcciones IPv6 que les corresponden a sus respectivas instituciones, según la tabla 8 mostrada.

Tabla 8

*Direcciones IPv6 de Universidades en el simulador*

UNIVERSIDAD	DIRECCION IPv6	host	IPv6 Asigando	host	IPv6 Asigando
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	2001:1348:1003:01XX::/56	h7	2001:1348:1003:0100::/56	h8	2001:1348:1003:0101::/56
Universidad Nacional de Ingeniería	2001:1348:1003:02XX::/56	h5	2001:1348:1003:0221::/56	h6	2001:1348:1003:0220::/56
Universidad Nacional del Santa	2001:1348:1003:51XX::/56	h11	2001:1348:1003:5109::/56	h12	2001:1348:1003:5110::/56
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo	2001:1348:1003:52XX::/56	h9	2001:1348:1003:5210::/56	h10	2001:1348:1003:5221::/56
Universidad Nacional Agraria de La Selva	2001:1348:1003:53XX::/56	h3	2001:1348:1003:5331::/56	h4	2001:1348:1003:5332::/56
Universidad Nacional Hermilio Valdizán	2001:1348:1003:54XX::/56	h1	2001:1348:1003:5451::/56	h2	2001:1348:1003:5450::/56
Universidad Nacional de Ucayali	2001:1348:1003:59XX::/56	h13	2001:1348:1003:5910::/56		
Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de Ica	2001:1348:1003:C1XX::/56	h14	2001:1348:1003:C110::/56		

*Elaboración propia.*

Se utiliza el terminal del Mininet, se configura cada dirección IPv6 mediante el comando: **hx ifconfig hx-eth0 inet6 add <<dirección IPv6>>**; siendo **x** el número del respectivo host, como se aprecia en la figura 43.

**Figura 43**

*Configuración de hosts con la dirección IPv6 asignada*

```

peru@lima: ~/mininet/mininet/examples
mininet> h1 ifconfig h1-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5451/56
mininet> h2 ifconfig h2-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5450/56
mininet> h3 ifconfig h3-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5331/56
mininet> h4 ifconfig h4-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5332/56
mininet> h5 ifconfig h5-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::0221/56
mininet> h6 ifconfig h6-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::0220/56
mininet> h7 ifconfig h7-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::0100/56
mininet> h8 ifconfig h8-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::0101/56
mininet> h9 ifconfig h9-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5210/56
mininet> h10 ifconfig h10-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5221/56
mininet> h11 ifconfig h11-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5109/56
mininet> h12 ifconfig h12-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5110/56
mininet> h13 ifconfig h13-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::5910/56
mininet> h14 ifconfig h14-eth0 inet6 add 2001:1348:1003::c110/56
mininet> ifconfig h6
  
```

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)*

Para verificar la asignación de los números IPv6, a los respectivos host, es mediante el comando **h6 ifconfig** desde el terminal de Mininet, se obtiene la configuración mostrada en la figura 44, y con la instrucción **h6 ping 2001:1348:1003::0101** se comprueba conectividad para la transmisión de datos, se repite la instrucción para los otros hosts; los resultados se muestran en la figura 45.

Figura 44

Constatación de la configuración realizada

```
peru@lima: ~/mininet/mininet/examples
mininet> h6 ifconfig
h6-eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.0.6 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
    inet6 fe80::f0b2:1bff:fe59:86f3 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    inet6 2001:1348:1003::220 prefixlen 56 scopeid 0x0<global>
    inet6 2001:1348:1003:220:: prefixlen 56 scopeid 0x0<global>
    ether f2:b2:1b:59:86:f3 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 563 bytes 49186 (49.1 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 98 bytes 7888 (7.8 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Bucle local)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)

Figura 45

Verificación de flujo de datos con dirección configurada

```
peru@lima: ~/mininet/mininet/examples
mininet>
mininet> h6 ping 2001:1348:1003::0101
PING 2001:1348:1003::0101(2001:1348:1003::101) 56 data bytes
64 bytes from 2001:1348:1003::101: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.06 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::101: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.079 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::101: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.139 ms
^C
--- 2001:1348:1003::0101 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2029ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.079/0.757/2.055/0.917 ms
mininet> h6 ping 2001:1348:1003::5450
PING 2001:1348:1003::5450(2001:1348:1003::5450) 56 data bytes
64 bytes from 2001:1348:1003::5450: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.303 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5450: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.149 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5450: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.156 ms
^C
--- 2001:1348:1003::5450 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2045ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.149/0.202/0.303/0.071 ms
mininet> h6 ping 2001:1348:1003::5110
PING 2001:1348:1003::5110(2001:1348:1003::5110) 56 data bytes
64 bytes from 2001:1348:1003::5110: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.428 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5110: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.147 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5110: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.159 ms
^C
--- 2001:1348:1003::5110 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2106ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.147/0.244/0.428/0.129 ms
mininet> h6 ping 2001:1348:1003::5910
PING 2001:1348:1003::5910(2001:1348:1003::5910) 56 data bytes
64 bytes from 2001:1348:1003::5910: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.411 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5910: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.203 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::5910: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.084 ms
^C
--- 2001:1348:1003::5910 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2055ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.084/0.232/0.411/0.135 ms
mininet> h6 ping 2001:1348:1003::c110
PING 2001:1348:1003::c110(2001:1348:1003::c110) 56 data bytes
64 bytes from 2001:1348:1003::c110: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.473 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::c110: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.158 ms
64 bytes from 2001:1348:1003::c110: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.147 ms
^C
--- 2001:1348:1003::c110 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2248ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.147/0.259/0.473/0.151 ms
mininet>
```

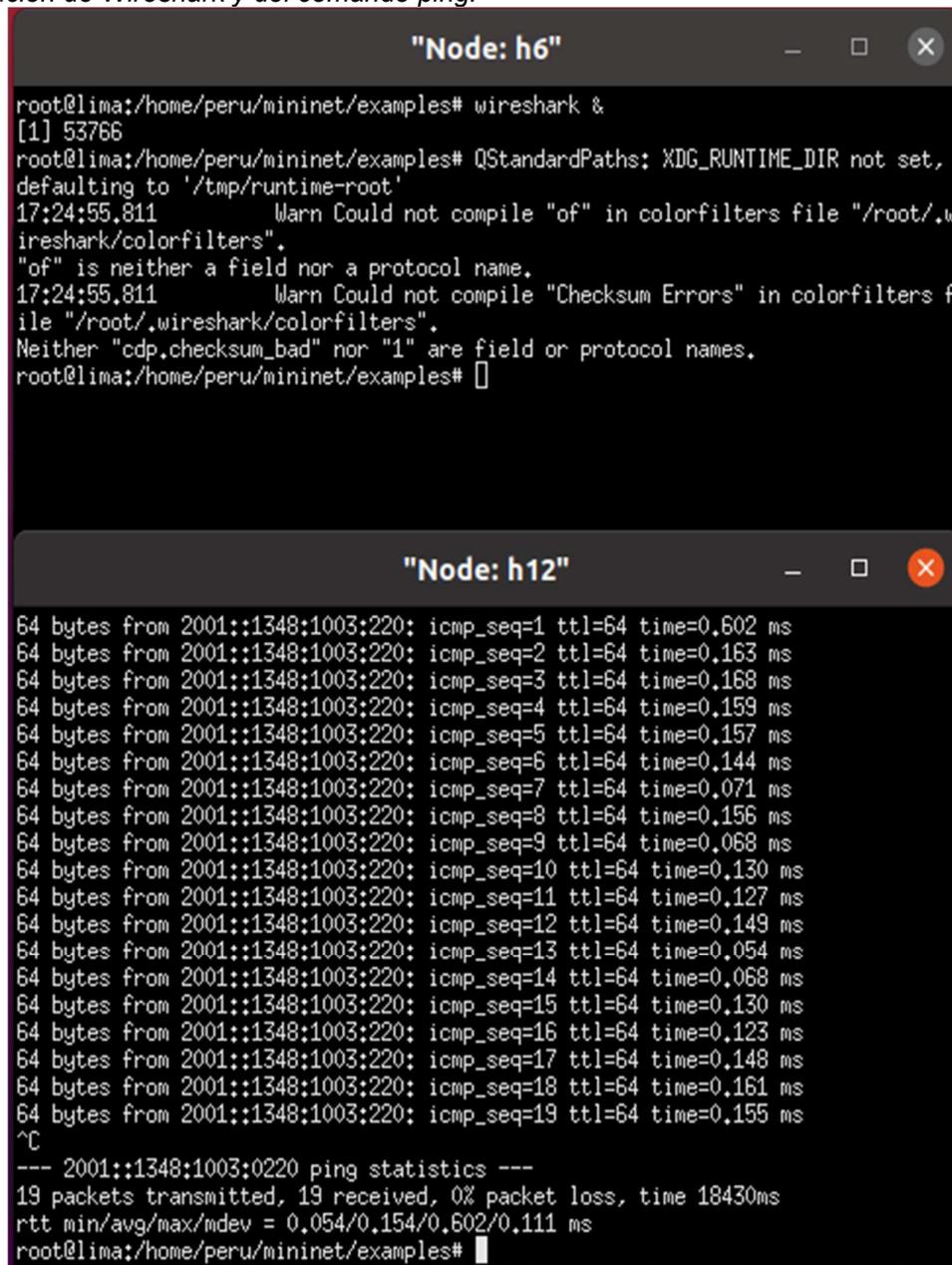
Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)

Se realiza la captura del flujo de datos mediante, desde el terminal h6 (UNI), la plataforma wireshark, y se ejecuta un *ping* desde el terminal h12 (UNS).

Desde el terminal del host 6 se ejecuta la instrucción *wireshark &* y desde el terminal del host 12 se ejecuta el comando *ping 2001::1348:1003:220*, como se aprecia en la figura 46.

**Figura 46**

*Ejecución de Wireshark y del comando ping.*



```
root@lima:/home/peru/mininet/examples# wireshark &
[1] 53766
root@lima:/home/peru/mininet/examples# QStandardPaths: XDG_RUNTIME_DIR not set,
defaulting to '/tmp/runtime-root'
17:24:55,811 Warn Could not compile "of" in colorfilters file "/root/.w
ireshark/colorfilters".
"of" is neither a field nor a protocol name.
17:24:55,811 Warn Could not compile "Checksum Errors" in colorfilters f
ile "/root/.wireshark/colorfilters".
Neither "cdp.checksum_bad" nor "1" are field or protocol names.
root@lima:/home/peru/mininet/examples# █

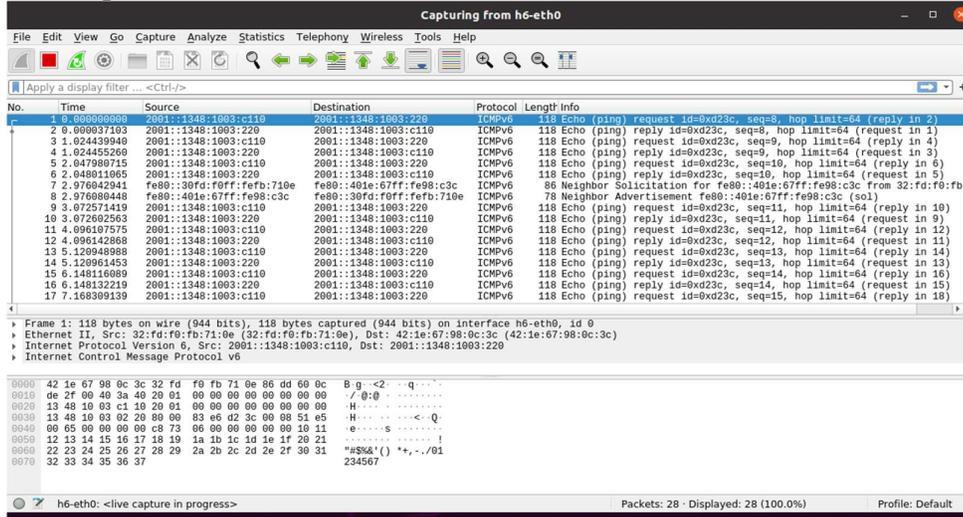
"Node: h12"
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.602 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.163 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.168 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.159 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.157 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.144 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.071 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.156 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.068 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.130 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.127 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.149 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.068 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.130 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.123 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.148 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.161 ms
64 bytes from 2001::1348:1003:220: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.155 ms
^C
--- 2001::1348:1003:0220 ping statistics ---
19 packets transmitted, 19 received, 0% packet loss, time 18430ms
rtt min/avg/max/mdev = 0,054/0,154/0,602/0,111 ms
root@lima:/home/peru/mininet/examples# █
```

*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Mininet, 2023)*

Al ejecutar la aplicación *Wireshark*, se visualiza la ventana *Capturing from h6-eth0* que proporciona los datagramas IPv6 sobre la ejecución y respuesta de la instrucción realizada, como se visualiza en la figura 47.

**Figura 47**

*Flujo de datagramas IPv6.*

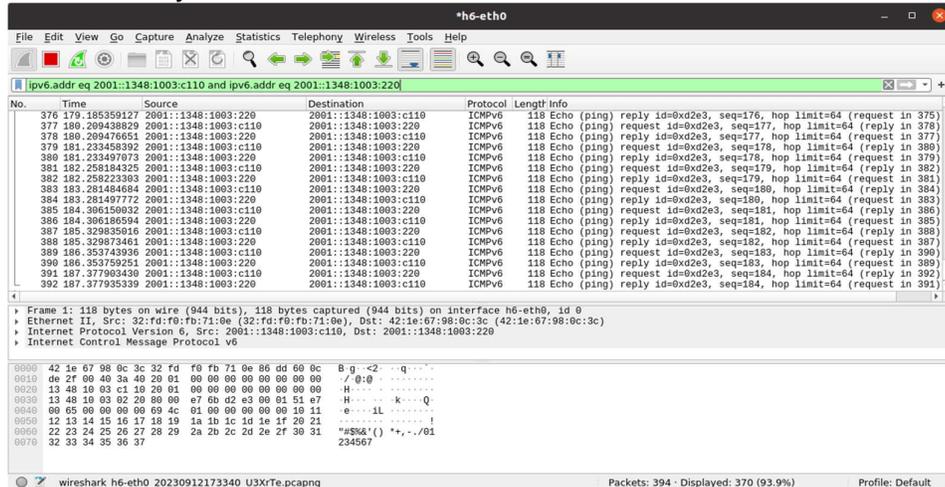


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

También indica desde que dirección se realiza el comando y hacia donde está dirigida, se especifica los números IPv6 que intervienen en la ejecución de la instrucción. En la figura 48 se muestra la información brindada.

**Figura 48**

*Flujo de datos IPv6 y ICMPv6*

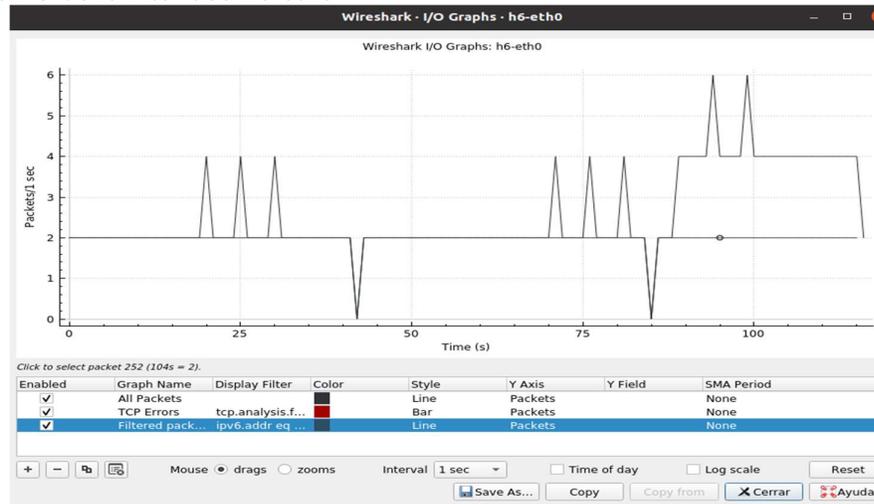


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

Wireshark proporciona gráficas de datos de entrada / salida de la interface que se está analizando, indica los paquetes IPv6 y los errores producidos en la transmisión del protocolo TCP. Entrega la gráfica de la figura 49.

**Figura 49**

*Datos de I/O de la interface h6-eth0*

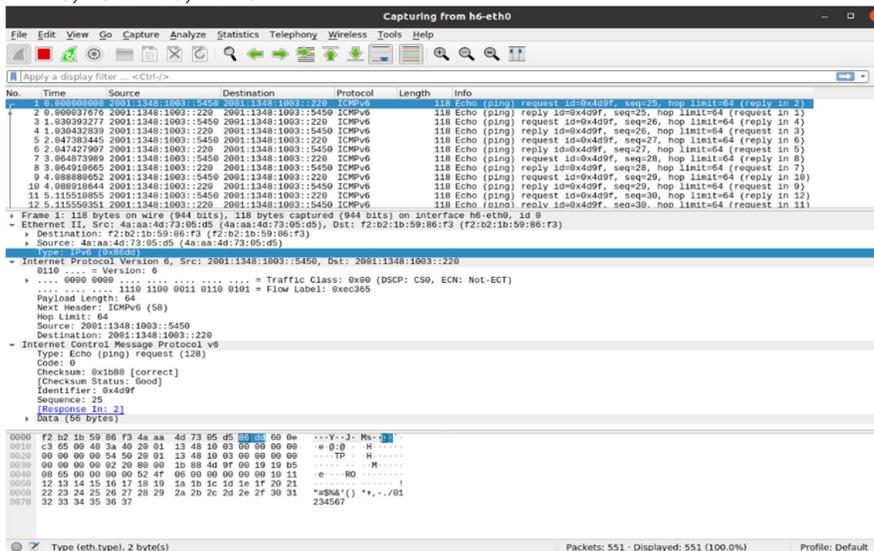


*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

Datos de I/O de la interface h6-eth0. Para obtener más información se debe desplegar cada uno de los indicadores y se obtiene datos de direcciones MAC, IPv6, del protocolo de mensajes de control de Internet v6 – ICMPv6 entre otros, figura 50.

**Figura 50**

*Datos de IPv6, ICMPv6, MAC*



*Elaboración propia (captura de pantalla del simulador Wireshark, 2023)*

## e) Simulación con Controlador OPENDAYLIGHT

El sistema operativo que permite personalizar y automatizar redes, desarrollado en Java es abierto y que permite la programación de la red es OpenDayLight, diseñado como base de soluciones comerciales, centraliza la programación de los dispositivos de manera lógica y facilita la creación de aplicaciones para la configuración y administración de la red. Proporciona una herramienta web para administrar la red, mostrar su topología, estadísticas de flujo y ubicación de host.

OpenDayLight mantiene los tres niveles de SDN; las aplicaciones para gestionar la red, utilizan API Northbound para comunicarse con el controlador, luego contiene la plataforma del controlador y con los dispositivos de red se comunica mediante el API Southbound.

Para utilizar OpenDayLight se debe constatar la configuración del lenguaje Java, e instalar el controlador OpenDayLight con sus características básicas.

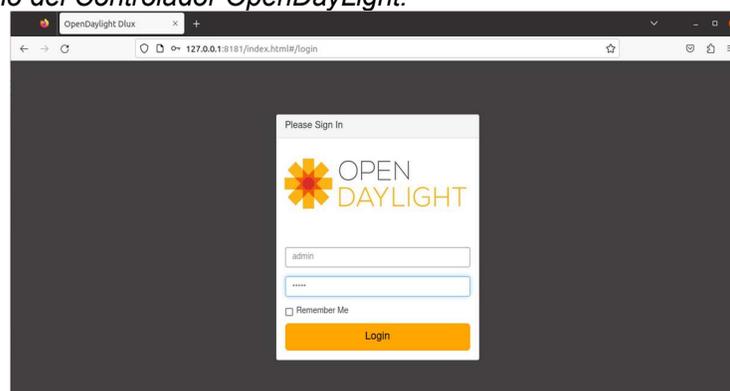
Luego de ejecutar OpenDayLight, se utiliza MiniEdit para configurar la red a simular, con las especificaciones requeridas por el controlador. Para asegurar continuidad de la red se ejecuta un ping general, antes de visualizar la red con OpenDayLight.

Desde un navegador web se accede al servidor que contiene OpenDay Light a través de dirección: <https://127.0.0.1:8181/index.html>.

Se despliega la ventana de la figura 51, ingresar los datos usuario y clave: *admin*.

### Figura 51

*Página de inicio del Controlador OpenDayLight.*

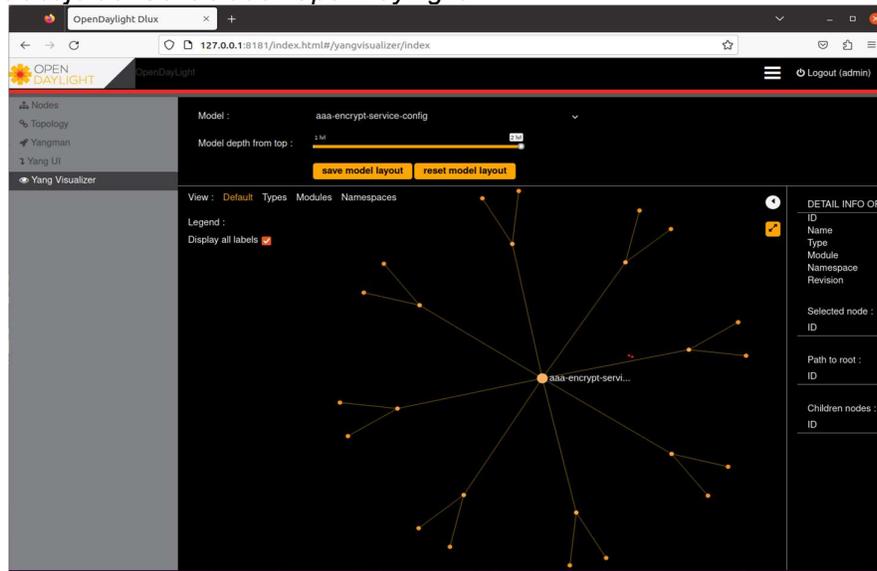


*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

Se ingresa al gestor del controlador, mediante la página web, se muestran las opciones que permite utilizar; como se muestra en la figura 52, siendo la opción Topology la que permite visualizar la topología de la red implementada, figura 53.

**Figura 52**

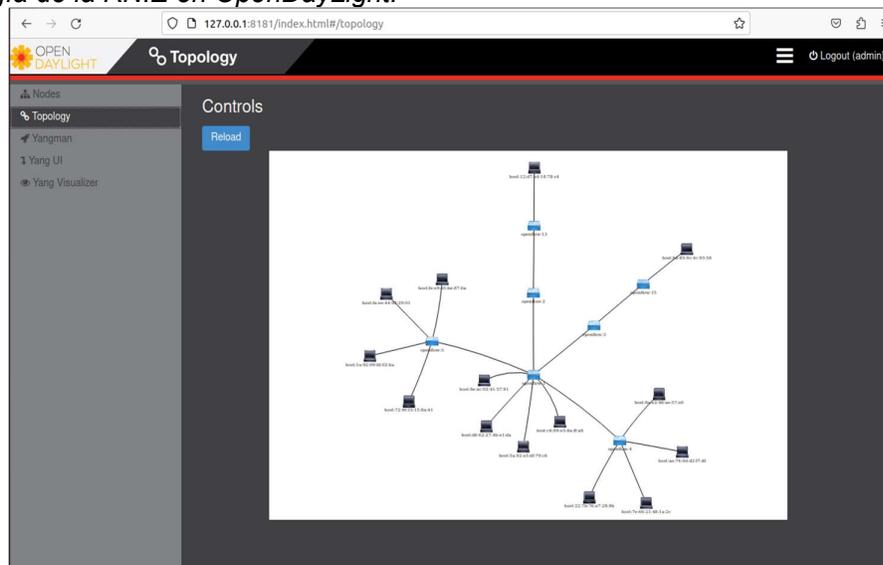
*Área de trabajo del Controlador OpenDayLight.*



*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

**Figura 53**

*Topología de la RNIE en OpenDayLight.*

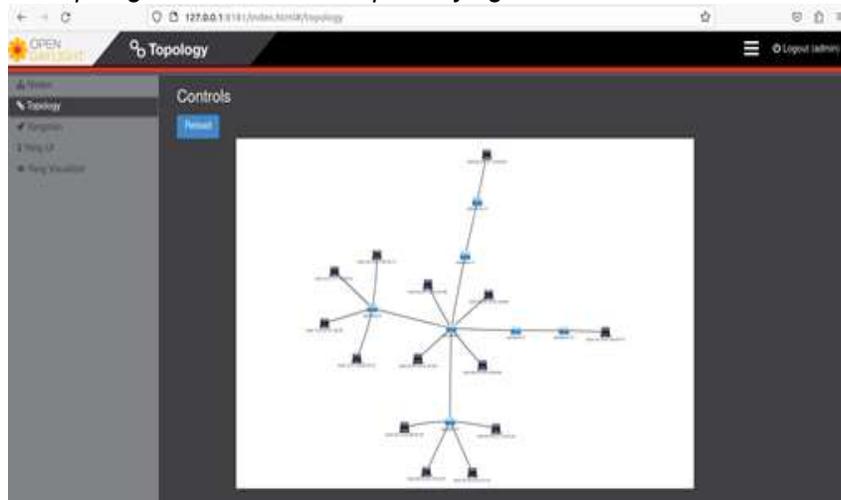


*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

Al realizar un Reload, la disposición de los equipos de red y host se reubican, la topología de la red se mantiene, tal como se aprecia en la figura 54.

### Figura 54

*Reload de la Topología de la RNIE en OpenDayLight.*

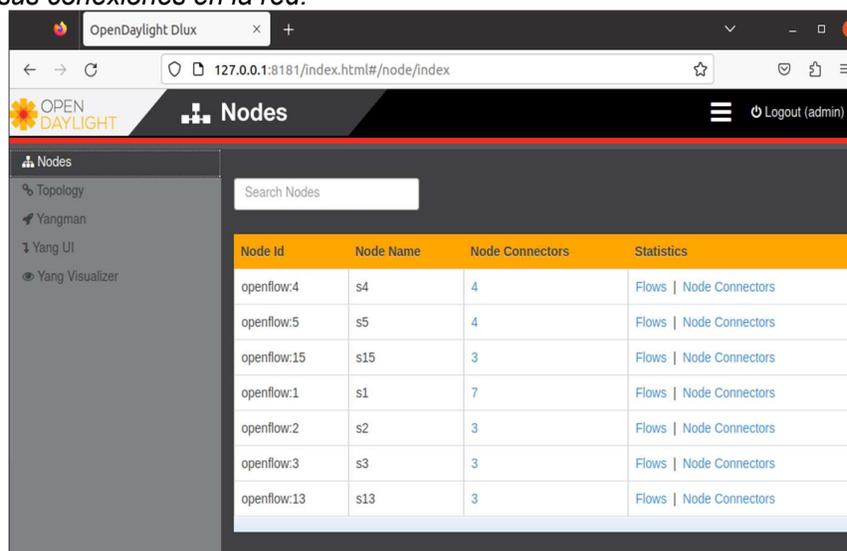


*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

La opción *Nodes*, figura 55, permite conocer información de los conmutadores que utilizan OpenFlow y con qué conmutadores mantiene flujo de datos. Las figuras 56 y 57 muestran las conexiones activas de los nodos s1 y s2, mientras que la figura 57 las estadísticas del flujo de datos OpenFlow en el nodo s1.

### Figura 55

*Nodos y sus conexiones en la red.*

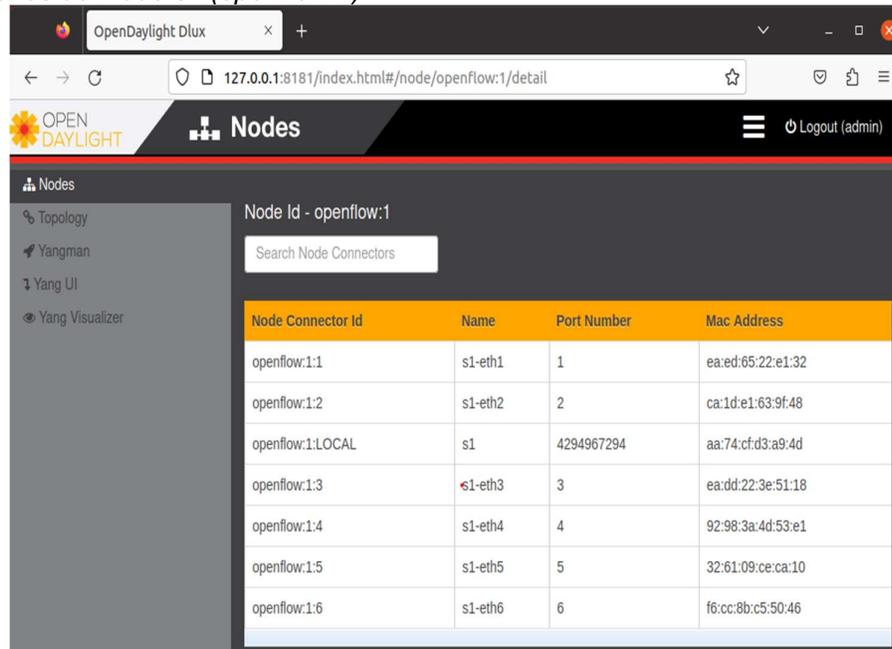
A screenshot of the OpenDayLight web interface showing the 'Nodes' view. The interface includes a search bar and a table with columns for Node Id, Node Name, Node Connectors, and Statistics. The table lists several nodes with their respective IDs, names, and connector counts.

Node Id	Node Name	Node Connectors	Statistics
openflow:4	s4	4	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:5	s5	4	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:15	s15	3	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:1	s1	7	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:2	s2	3	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:3	s3	3	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>
openflow:13	s13	3	<a href="#">Flows</a>   <a href="#">Node Connectors</a>

*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

**Figura 56**

*Conexiones del nodo s1 (openflow:1)*



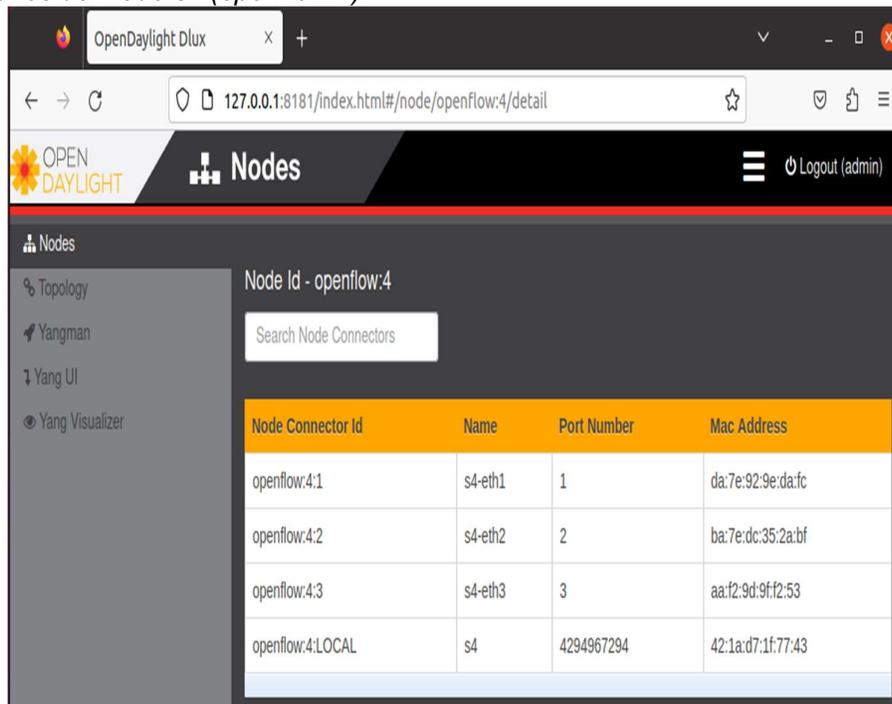
The screenshot shows the OpenDaylight Dlux web interface. The browser address bar displays '127.0.0.1:8181/index.html#/node/openflow:1/detail'. The page title is 'Nodes'. On the left sidebar, 'Yang Visualizer' is selected. The main content area shows 'Node Id - openflow:1' and a search box for 'Node Connectors'. Below is a table with the following data:

Node Connector Id	Name	Port Number	Mac Address
openflow:1:1	s1-eth1	1	ea:ed:65:22:e1:32
openflow:1:2	s1-eth2	2	ca:1d:e1:63:9f:48
openflow:1:LOCAL	s1	4294967294	aa:74:cf:d3:a9:4d
openflow:1:3	s1-eth3	3	ea:dd:22:3e:51:18
openflow:1:4	s1-eth4	4	92:98:3a:4d:53:e1
openflow:1:5	s1-eth5	5	32:61:09:ce:ca:10
openflow:1:6	s1-eth6	6	f6:cc:8b:c5:50:46

*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

**Figura 57**

*Conexiones del nodo s4 (openflow:4).*



The screenshot shows the OpenDaylight Dlux web interface. The browser address bar displays '127.0.0.1:8181/index.html#/node/openflow:4/detail'. The page title is 'Nodes'. On the left sidebar, 'Yang Visualizer' is selected. The main content area shows 'Node Id - openflow:4' and a search box for 'Node Connectors'. Below is a table with the following data:

Node Connector Id	Name	Port Number	Mac Address
openflow:4:1	s4-eth1	1	da:7e:92:9e:da:fc
openflow:4:2	s4-eth2	2	ba:7e:dc:35:2a:bf
openflow:4:3	s4-eth3	3	aa:f2:9d:9f:f2:53
openflow:4:LOCAL	s4	4294967294	42:1a:d7:1f:77:43

*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

**Figura 58**

*Estadísticas flujo de datos openflow en el nodo s1.*

Node Connector Id	Rx Pkts	Tx Pkts	Rx Bytes	Tx Bytes	Rx Drops	Tx Drops	Rx Errs	Tx Errs	Rx Frame Errs	Rx OverRun Errs	Rx CRC Errs	Collisions
openflow:1.1	394	1789	30490	142403	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.2	407	1794	31292	142461	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.LOCAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.3	500	1764	41875	139449	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.4	504	1761	42305	139089	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.5	971	1696	76189	134185	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1.6	958	1686	75587	133877	0	0	0	0	0	0	0	0

*Elaboración propia (captura de pantalla del controlador OpenDayLight, 2023)*

## Capítulo IV. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de datos obtenidos

Según la propuesta del diseño de la arquitectura de la RNIE; la topología se sometió a simuladores en los posibles escenarios, que permitan obtener datos que verifiquen la viabilidad de la propuesta, así como conocer el comportamiento de la tecnología SDN en circunstancias inesperadas en el transporte de datos y/o necesidad de modificar en ancho de banda o cuando se requiera realizar reestructurar la propia arquitectura.

#### 4.1.1 Mininet

La topología propuesta se ingresó mediante su aplicación gráfica Miniedit que permite dibujarla según los objetos “equipos y enlaces” que tiene disponibles.

Se verifica que cada uno de los host tienen configurados direcciones IPv6 por defecto, así como IPv4; además las interfaces de red se denominan con el nombre del host y la interface de red Ethernet 0, es decir, para el host h1 la interface es h1-eth0 y tienen por defecto un número MAC para transmisiones IPv4; las interfaces locales lo siempre se designan con el número 127.0.0.1.

Del análisis de los datos obtenidos se deduce que la dirección, por defecto, IPv6 de los host se obtienen a partir de su dirección MAC, según el procedimiento para obtener el MAC para IPv6.

Para verificar el rigor del procedimiento, se obtiene la dirección local de enlace IPv6 por defecto del host h1.

Datos:

```
inet 10. 0. 0. 1 netmask 255. 0. 0. 0 broadcast 10. 255. 255. 255
```

```
inet 6 fe80::5c5e:83ff:fe9e:2da8 prefixlen 64
```

```
ether 5e:5e:83:9e:2d:8A
```

Procedimiento:

El primer octeto a binario: 5e → 0101 1110

Invertir el séptimo bit: 0101 1100 → 5c

Reemplazar en el octeto original: 5c 5e:83:9e:2d:8A.

En el centro de la dirección, insertar ff:fe → 5c:5e:83: ff:fe :9e:2d:8A.

Al inicio agregar ff80 → ff80: 5c:5e:83: ff:fe :9e:2d:8A.

La dirección obtenida es: ff80::5c5e:83ff:fe9e:2d8A.

La dirección obtenida es la misma que está asignada al host analizado.

La transmisión de datos mediante el protocolo IPv6 se realizó sin pérdidas de paquetes y las pruebas constaron en distribuir los datos por todos los segmentos de red. Además, se simuló la caída de un enlace, derivándose el flujo de datos por el enlace redundante que está previsto para cada controlador de las regiones; obteniéndose resultados con las mismas características del enlace principal, pero si se aprecia que el tiempo de transmisión aumenta debido a la ruta mayor que tienen que realizar los datos para alcanzar a su destino.

#### **4.1.2 Wireshark**

Wireshark permite analizar el flujo de datos que discurre entre el host y el conmutador SDN; al realizar la captura de datos en la interface del terminal se verifica el flujo de datos en IPv6, así como los datos de envío del host fuente y la respuesta del host destino, el envío de paquetes de 64 bits, el uso del protocolo ICMPv6 y el origen del flujo de datos; no hay pérdida de datos.

En la captura de datos entre el controlador y los conmutadores SDN, se constata el flujo de datos OpenFlow, y sus pedidos de solicitud y de respuesta. Se hizo pruebas con mayor el flujo de datos hacia el mismo terminal, apreciándose el incremento de la solicitud y respuesta del terminal, obteniéndose datos que constatan el flujo de datos correcto. Como resultado se verifica el correcto funcionamiento del protocolo OpenFlow en la plataforma de simulación.

Mediante la captura del flujo de datos entre el controlador y los conmutadores, observándose flujo de datos OpenFlow con pedidos de solicitud y respuesta para cada uno de los conmutadores, mediante la versión del OpenFlow 1.0.

#### **4.1.3 RYU**

**RYU** es un controlador que permite enviar órdenes desde aplicaciones SDN a los conmutadores, se requiere una interface gráfica que administre éste control de flujo; para lo cual se debe configurar la interface gráfica del Miniedit que permita utilizar un controlador externo y soporte ordenes de aplicaciones, permita la configuración y flujo de datos IPv6.

Se verifica que Mininet utilizará un controlador externo (RYU), que tiene habilitado el comando de línea (CLI) y utiliza OpenFlow 1.3, con ello el comando pingall muestra los resultados esperados e idénticos a los anteriormente obtenidos.

#### **4.1.4 Flowmanager de RYU**

Flowmanager accede al Controlador RYU, para administrar el control de flujo desde la capa de aplicación del modelo SDN, mediante un browser se accede al controlador que muestra los ID(s) de los switches (conmutadores) de la red simulada. En la topología que muestra la aplicación se visualiza los conmutadores SDN de la red y sus enlaces entre ellos y los hosts, se observa que hay categorías de enlaces para conmutadores, para host con conexión directa, para host por medio de un switch convencional. A los conmutadores se les asigna un número, host se les identifica por su MAC.

Mediante el acceso a la opción de Tables se obtiene la actividad entre los conmutadores y con sus hosts, mediante Flow Control se configura el enrutamiento de los datagramas, prioridad, interface de fuente y destino.

Al configurar la red con numeración IPv6 los datagramas obtenidos mediante wireshark, permite analizar el protocolo que interviene en el flujo de datos, las direcciones de fuente y destino, desde donde se realiza la solicitud y quién responde; datos relevantes como la longitud del datagrama, las direcciones MAC, el tiempo de la transmisión, entre otros datos relevantes.

#### **4.1.5 OpenDayLight**

Permite la programación de la red, mediante la web, así como administrarla, ver la topología, estadísticas de flujo y ubicación de host.

Mediante la página web, se obtiene la topología de la red, que muestra los concentradores, sus enlaces entre ellos y el acceso de los hosts.

Permite analizar del flujo de datos OpenFlow por los diferentes nodos; determinándose que las transmisiones son eficientes sin tener pérdidas de paquetes, sin errores tanto en la transmisión como en la recepción y sin colisiones.

#### **4.2 Resultados**

Según la información brindada por las simulaciones, se concluye que la propuesta de la topología de red, entrega resultados que permiten desplegarla nivel nacional, que interconecte a las instituciones de investigación y educación dotándola de las tecnologías de última generación, principalmente el despliegue de una red SDN y que utilice IPv6.

La viabilidad para concretar la RNIE se respalda, en utilizar la infraestructura de la RDNFO que está subutilizada y genera gastos al erario nacional sin retorno; convirtiéndose en la alternativa que entregue al país, principalmente al sector académico y de investigación, de una herramienta de red de nueva generación.

#### **4.3 Equipos, instalación y operación.**

El uso de la infraestructura de las Redes Regionales y de la RDNFO o de la futura Red Integrada de Banda Ancha – RIBA, mejora los costos de instalación, comprendiéndose en el CAPEX los costos involucrados en adquisición de equipos de red, configuración, instalación y puesta en funcionamiento.

Para efectos de adquirir el equipamiento principal que permita empezar el funcionamiento de la RNIE, con solidez y estable, se propone equipos de marca conocida que garanticen, desde el inicio, una calidad de servicio y transporte de datos eficiente.

La tabla 9 presenta el equipamiento del Controlador de la red, así como el necesario en cada una de las regiones, se considera la región Lima. Como se plantea en la propuesta los equipos se instalan en las sedes de la RDNFO y de las Redes Regionales.

El Controlador de la red SDN co-ubicado en el Data Center de la RDNFO, con el software instalado ofrece seguridad multicapa, agilidad, inteligencia.

En las regiones, incluida Lima son equipadas con conmutadores que permiten configurar redes híbridas, con excelente seguridad que permiten automatizarlas, protegerlas y simplificarlas.

En la región Lima, se adiciona un router que permite el tránsito de datos desde y hacia las redes avanzadas, con los accesos en Chile y/o Ecuador.

Tabla 9

*Equipamiento requerido*

EQUIPAMIENTO BÁSICO DE LA RED						
Equipo	Ubicación	Descripción	Precio (*)	Cantidad	Subtotal	Total
<b>Controlador (Data Center)</b>	Lima					<b>\$200,703.67</b>
		Cisco DNA Subscription for Catalyst 8500 Series.	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco Catalyst 8500-12X4+F19-G30QC Edge Platform.	\$158,175.38	1	\$158,175.38	
		NAL Certification labels for C8500-12X4QC	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco C8500 Accessory Kit - 19" rack	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco C8500 Fan Tray, 1RU	\$0.00	1	\$0.00	
		C8500 480 GB, M2 SATA SSD	\$4,140.10	1	\$4,140.10	
		Cisco C8500 750W AC Power Supply	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco C8500 750W AC Power Supply, Spare \$4080.95	\$4,080.95	1	\$4,080.95	
		Cisco C8500 950W DC Power Supply	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco C8500 950W DC Power Supply, Spare	\$4,080.95	1	\$4,080.95	
		Cisco IOS XE SD-WAN	\$0.00	1	\$0.00	
		CON-SMTP-C850QC12	\$30,226.29	1	\$30,226.29	
<b>Conmutador</b>	Lima					<b>\$85,492.31</b>
		Catalyst 9400 Series 10 slot Sup, 2xC9400-LC-48U, DNA-E LIC.	\$37,407.56	1	\$37,407.56	
		Cisco Catalyst 9400 Network Advantage License	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco Catalyst 9400 Series Redundant Supervisor 1 Module	\$16,891.60	1	\$16,891.60	
		Cisco Catalyst 9400 Series 960GB M2 SATA memory (Supervisor)	\$7,239.26	1	\$7,239.26	
		Cisco Catalyst 9400 Series 10slot chassis 19 Inch Rack Mount	\$313.41	1	\$313.41	
		CON-3SNT-C9410R9A	\$6,519.24	1	\$6,519.24	
		Cisco Catalyst C8200-1N-4T Router.	\$5,322.98	1	\$5,322.98	
		Cisco 8202 Air Filter for Port-side Air Intake	\$1,618.95	1	\$1,618.95	
		Power Cord 10A SEVY 10111 for Switzerland	\$129.31	1	\$129.31	
		Cisco 8K Essential License for Open System	10050	1	\$10,050.00	
		Cisco Catalyst 8200 Rack mount kit - 19" 1R.	\$0.00	1	\$0.00	
		Cisco Catalyst 8200 Wall mount kit.	\$0.00	1	\$0.00	
<b>Conmutadores</b>	Regionales					<b>\$1,640,905.68</b>
		Catalyst 9400 Series 10 slot Sup, 2xC9400-LC-48U, DNA-E LIC.	\$37,407.56	24	\$897,781.44	
		Cisco Catalyst 9400 Network Advantage License	\$0.00	24	\$0.00	
		Cisco Catalyst 9400 Series Redundant Supervisor 1 Module	\$16,891.60	24	\$405,398.40	
		Cisco Catalyst 9400 Series 960GB M2 SATA memory (Supervisor)	\$7,239.26	24	\$173,742.24	
		Cisco Catalyst 9400 Series 10slot chassis 19 Inch Rack Mount	\$313.41	24	\$7,521.84	
		CON-3SNT-C9410R9A	\$6,519.24	24	\$156,461.76	
<b>TOTAL</b>						<b>\$1,927,101.66</b>

(\*) PreciosUSA de Lista  
<https://itprice.com/cisco-gpl>

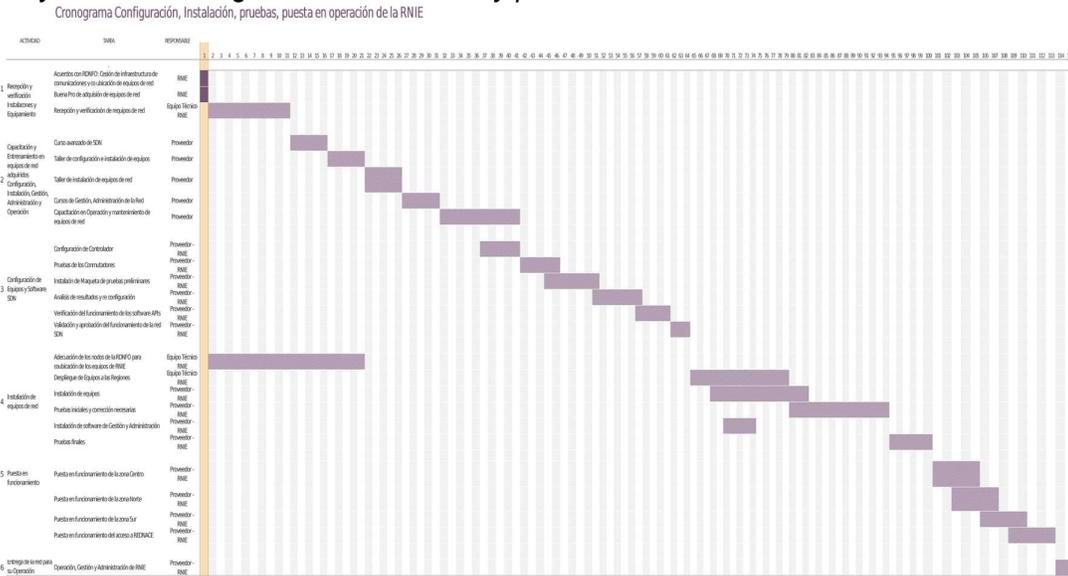
*Elaboración propia.*

El proceso de instalación, conlleva la configuración del concentrador, con las API de dirección sur y norte; la co-ubicación de los equipos en los locales de la RDNFO y las Redes Regionales, su conectividad, y la puesta en operación de la red SDN; el acceso de

las instituciones de investigación y educación se realiza a partir de su equipo de cabecera de su red interna. Se presenta el diagrama de tiempos para la implementación de la red.

**Figura 59**

**Proyección - Cronograma de Instalación y puesta en funcionamiento - RNIE.**



**Elaboración propia**

Durante la concesión de RDNFO por Azteca, el Estado ha realizado pagos, entre junio de 2015 a junio de 2021 un total de US\$ 290 356 293 incluido IGV, de los cuales por concepto RPMO el monto total ascendió a US\$ 126 864 824; en la fase de estructuración del proyecto se estimó en US\$ 98 528 178, lo pagado fue mayor en US\$ 191 828 115. (Guardia, 2021)

Los gastos estimados, por PRONATEL, para el 2022 por concepto de O&M, ascenderían a S/ 123 954 237.00.[45]

Para efectos de determinar los costos involucrados, se consideran las principales actividades que normalmente las operadoras de telecomunicaciones tienen como gastos de OPEX, los mismos que se muestran en la tabla 10.

La RNIE tendrá presencia en 24 nodos a nivel nacional, en 22 se tiene un grupo de técnicos encargados de atender el mantenimiento preventivo y correctivo, en Lima se consideran 5 cuadrillas, mientras que en las regiones de acceso internacional 2 grupos. El personal calificado de la operación y gestión se encuentra ubicado en la capital, en ambientes propios, alquilados o cedidos en uso por una universidad o institución pública.

Se debe considerar la auto sostenibilidad de la Propuesta de la creación de la RNIE, que implique su gestión, administración, operación, mantenimiento y renovación tecnológica.

Tabla 10

*Costos Mensual de O&M de la RNIE*

<b>Costos Mensual de O&amp;M de la RNIE</b>	
Recursos Humanos	S/.271,610.00
Equipos de Medición	S/.3,755.00
Herramientas	S/.469.20
Equipos de Seguridad	S/.436.25
Alquiler de Local Adm. Y Gestión	S/.7,500.00
Alquiler de Locales O&M	S/.8,000.00
Despliegue y movilidad	S/.60,000.00
Consumibles	S/.20,478.13
Líneas Móviles	S/.600.00
Líneas Fijas	S/.300.00
	<b>S/.373,148.58</b>

*Elaboración propia.*

Se confecciona la tabla 11 de acceso a Internet, de algunas universidades con información obtenida del SEACE, para conocer los gastos en las que incurren con sus proveedores, como referencia para solventar los costos requeridos en la O&M de la RNIE.

Tabla 11

**Gastos actuales de Universidades Públicas de acceso a Internet**

	Entidad	Proveedor	Fecha de la Buena Pro	Monto	Mensual
1	Universidad Nacional de Ingeniería	VIETTEL PERU SAC	7/03/2022	S/.3,456,789.00	S/.96,021.92
2	Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	TELEFÓNICA DEL PERÚ SAA	31/01/2023	S/.5,637,145.68	S/.156,587.38
3	Universidad Nacional Hermilio Valdizan	VIETTEL PERU SAC	28/01/2021	S/.1,399,999.00	S/.38,888.86
4	Universidad Nacional de Trujillo	AMERICA MOVIL PERU SAC	9/04/2021	S/.2,724,525.60	S/.75,681.27
5	Universidad Nacional de la Amazonía Peruana	LELITV EIRL	2/12/2021	S/.4,301,030.00	S/.119,473.06
6	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	OPTICAL TECHNOLOGIES SAC	2/06/2023	S/.647,153.00	S/.17,976.47
					<b>S/.504,628.95</b>

*Elaboración propia.*

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la descripción de la problemática descrita en el ítem 1.2, y de las situaciones encontradas y precisadas en el acápite 2.2.1, se debe abordar y analizar, en el tiempo, los avances tecnológicos que podrían adicionar mejoras en la propuesta planteada.
2. Se concluye que la solución del diseño de una red SDN, permitirá tener una gestión eficiente y eficaz, debido a la programación de los equipos de red desde un controlador central.
3. Se logró verificar, como se evidencia en el ítem 3.6.3 la integración y funcionamiento de los controladores RYU, Flowmanager y OpenDayLight mediante la herramienta Mininet y OpenFlow que permiten verificar, con los datos obtenidos, la respuesta óptima de tiempos de los equipos de red ante los flujos de datos sometidos.
4. El entorno de simulación, permite someter a la topología de red, a todas las situaciones de riesgo en la que la red puede verse involucrada y esbozar la solución óptima.
5. Se concluye que la propuesta planteada recoge las principales exigencias del entorno académico y de investigación; flexibilidad en la asignación del ancho de banda, priorización de datos, seguridad, tiempo de respuesta, entre otros.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable constituir un grupo de gestión liberado por las principales universidades públicas del país, con la participación del CONCYTEC e institutos de investigación que viabilicen, al más alto nivel, el uso de la infraestructura de la RDNFO en favor de la RNIE.

Se recomienda impulsar la formación de la RNIE, constituyéndola como una asociación civil que permita reunir las universidades, institutos de investigación y a la comunidad científica, con sus fines propios y representar al Perú ante la comunidad internacional.

Es recomendable fomentar ante los organismos del gobierno la necesidad que la comunidad académica, científica y de investigación debe estar a la par que sus homólogos de otros países; siendo imprescindible y prioritario dotar al país de una Red Nacional de Investigación y de Educación.

Se recomienda adecuar la propuesta del diseño de la red según el avance tecnológico acorde con el momento que se logre instalar para su puesta en funcionamiento.

Muy importante recomendar que la convocatoria para designar a la empresa encargada de la instalación y puesta en funcionamiento, sea muy exigente, precisando la experiencia en el diseño y administración de redes SDN.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- @LIS. (2006). *“Cuatro años de colaboración Europea -América Latina para la Sociedad de la Información”*. [Publicación @LIS ISN, (50-51)]. Repositorio academia.edu.  
[https://www.academia.edu/854930/\\_at\\_LIS\\_Publicacion\\_fin\\_al\\_cuatro\\_a%C3%B1os\\_de\\_colaboraci%C3%B3n\\_Europa\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_para\\_la\\_Sociedad\\_de\\_la\\_Informaci%C3%B3n](https://www.academia.edu/854930/_at_LIS_Publicacion_fin_al_cuatro_a%C3%B1os_de_colaboraci%C3%B3n_Europa_Am%C3%A9rica_Latina_para_la_Sociedad_de_la_Informaci%C3%B3n)
- Alva, B. (2020). Las TIC como herramienta de investigación. [Ávaco/News, 68]. Página web de AvacoNews.  
<https://avaconews.unibague.edu.co/las-tic-como-herramienta-de-investigacion/>
- APAN. (1997). *Red Avanzada de Asia-Pacífico*. [Página web de APAN].  
<https://apan.net/>
- Banco Mundial. (2020). Informe 2 Escenarios y Modelo de Negocios para la RDNFO y Redes de Transporte Regionales. [Plataforma digital única del Estado Peruano - 493980].  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/493980/Informe\\_2\\_Banda\\_Ancha\\_Banco\\_Mundial.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/493980/Informe_2_Banda_Ancha_Banco_Mundial.pdf)
- Bokova, I. (2015). *La investigación es clave para conseguir los objetivos del Desarrollo Sostenible*. [Informe de la UNESCO]. Página web de UNESCO.  
<https://www.unesco.org/es/articles/la-investigacion-es-clave-para-conseguir-los-objetivos-del-desarrollo-sostenible-segun-un-informe-de>
- Chávez, M. (2009). *Estado actual de la red académica avanzada del Perú*. [Studium Veritatis, 7(12-13), 229–239].  
<https://doi.org/10.35626/sv.12-13.2009.184>
- CONCYTEC. (2019). Memoria institucional 2019. [Plataforma digital única del Estado Peruano - 1443162].  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1443162/Memoria%20Institucional%202019.pdf.pdf>
- Córdova, S. (2019). *Estudio de redes SDN mediante Mininet y MiniEdit*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet Repositorio Institucional UPV.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/127877/C%C3%B3rdova%20-%20Estudio%20de%20redes%20SDN%20mediante%20Mininet%20y%20MiniEdit.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CUDI. (1999). Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet. [Página web de CUDI].  
<https://cudi.edu.mx/acerca-de-cudi/acerca-de-cudi>

- Decreto Supremo N.º 014. (2013). *Reglamento de la Ley N.º 29904, Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica*. [Diario El Peruano, 20131104 (506448-506461)].  
<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1009427-1>
- Deering, S. (1998). *Asignaciones de direcciones de multidifusión IPv6*. [RFC 2375, DOI 10.17487/RFC2375]. Repositorio Serie RFC.  
<https://www.rfc-editor.org/info/rfc2375>
- Díaz, D. (2022). *Redes Definidas por Software con Mininet*. [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].  
<https://es.scribd.com/document/614459859/Libro-de-Simulacion-Redes-Definida-Por-Software-Con-Mininet>
- García, A. (2015). *Redes Definidas por Software*. [Editorial Académica Española]
- GÉANT. (2000). *Red paneuropea*. [Página web de GÉANT].  
<https://geant3plus.archive.geant.net/Pages/About/About.html>
- GÉANT. (2014). *Colaboración de las Redes Nacionales de Investigación y Educación Europeas (NREN)*. [Página web de GÉANT].  
<https://geant.org/>
- Grupo Trabajo Sectorial RDNFO. (2022). Informe final del grupo de trabajo sectorial de naturaleza temporal del MTC. [Plataforma digital única del Estado Peruano - 4114391].  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4114391/RDNFO%20GT%20-%20Informe%20Final%2026.10.2022R%5BF%5D.pdf.pdf>
- Guardia, R. (2021) *Propuesta de caducidad del Contrato de Concesión del Proyecto "Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica"*. [Informe N° 350-2021-MTC/27.01].  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2014714/INFORME%20N%C2%BA%20350-2021-MTC/27.01.pdf>
- Hinden, B. (1998). *Arquitectura de direccionamiento IP versión 6*. [Sociedad de Internet]. Repositorio de datos IEFT.  
<https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2373/>  
<https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2374/>
- InCommon (2000). *Gobernanza, políticas, comunidad, Servicios para Internet2*. [Página web de InCommon].  
<https://incommon.org/about/>
- Internet2. (1997). *University Corporation for Advanced Internet Development – UCAID*. [Página web de Internet2].  
<https://internet2.edu/network/>

- Jamison, J. (1997). *vBNS: la vía rápida de Internet para la investigación y la educación*. [IEEE Communications Magazine, vol. 35, núm. 1, págs. 60-63]. doi: 10.1109/35.568211. <https://ieeexplore.ieee.org/document/568211>
- Johnson, D. (1999). *Direcciones Anycast de subred IPv6 reservadas*. [RFC 2526, DOI 10.17487/RFC2526]. Repositorio Serie RFC. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2526>
- Loshin, P. (2003). *IPv6: Theory, Protocol, and Practice guides readers through*. [Editor Morgan Kaufman – 2da Edición]. <https://www.rau.edu.uy/ipv6/queesipv6.htm>
- Lysko, A. (2018). *A comparative evaluation of the performance of popular SDN controllers*. [Wireless Days (WD), Dubai, United Arab Emirates]. doi: 10.1109/WD.2018.8361694.
- Poder Legislativo. (2012). *Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica*. [Diario el Peruano]. Normas Legales, 470882 – 470887. <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29904.pdf>
- PRONATEL. (2022) Información para la población en general. [Plataforma digital única del Estado Peruano - 4015477]. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4015477/INFORMACION PARA PÚBLICO EN GENERAL.pdf.pdf>
- RedCLARA (2005). *Redes de Investigación y Educación*. [Página web de RedCLARA]. <https://www.redclara.net/index.php/es/red/redes-de-investigacion-y-educacion/que-son-y-para-que-sirven>
- RedCLARA. (2002). *CAESAR y Taller de Toledo*. [Página web de RedCLARA] <http://www.redclara.net/index.php/es/somos/redclara-la-organizacion/historia-de-redclara>
- RedCLARA. (2002). *Firma de Estatutos CLARA*. [Página web de RedCLARA] <http://www.redclara.net/index.php/es/somos/redclara-la-organizacion/historia-de-redclara>
- REDCLARA. (2003). *Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas - CLARA*. [Página web de RedCLARA]. <https://www.redclara.net/>
- RENACYT. (2023). *Registro de Investigadores*. [Página web de RENACYT]. <https://servicio-renacyt.concytec.gob.pe/datosrenacyt/>
- RENATA. (2007). *Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada*. [Página web de RENATA]. <https://www.renata.edu.co/infraestructura/>
- REUNA. (1993). *Red Universitaria Nacional*. [Página web de REUNA]. <https://www.reuna.cl/>

- RNP. (1989). Red Brasileña para la educación y la investigación. [Página web de RNP].  
<https://www.rnp.br/>
- Ruiz, M. (2005) *Redes Académicas avanzadas: Caso en el Perú*. [Revista de Investigación de Sistemas e informática, 2(47-54)]. Portal de Revistas de Investigación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sistema/article/view/3211/2680>
- SUNEDU. (2021). III Informe Bienal sobre La Realidad Universitaria en el Perú. [Creative Commons Reconocimiento]. e-ISBN: 978-612-47125-3-1.  
<https://www.gob.pe/institucion/sunedu/campa%C3%B1as/7990-iii-informe-bienal-sobre-la-realidad-universitaria>
- UBUNTUNET ALLIANCE. (2007). Alianza de las Redes Nacionales de Investigación y Educación de África Oriental y del Sur. [Página web de UBUNTUNET].  
<https://ubuntunet.net/>