

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE SISTEMAS**

**INGENIERÍA EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE  
SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**



**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN IXP PARA LA RED DE CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA ECUATORIANA**

**AUTORES: CORTÉS BARAHONA PAÚL ALEXANDER**

**ZAMBRANO ANDRADE DIANA ELIZABETH**

**DIRECTOR: PHD. MELGAREJO-HEREDIA RAFAEL**

**QUITO, JUNIO 2020**

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres, Joel Cortés y Olga Barahona, quienes están presentes en cada instante de mi vida y que me han transmitido todos sus valores para convertirme en la persona que soy actualmente. Les agradezco principalmente por toda la confianza que han depositado en mí y las palabras de apoyo para que nunca me rinda en ningún momento de mi vida, además de enseñarme que todas las cosas que hacemos las debemos hacer con esfuerzo y dedicación. Gracias por ser los pilares fundamentales en mi vida.

Agradezco a mi hermana Gabriela, quien me ha apoyado en mis momentos difíciles y que nunca ha dudado de mí. Te agradezco principalmente por enseñarme que la unión de hermanos debe ser sólida para superar cualquier adversidad.

A todos mis amigos que me han retado a superarme día a día y que el trabajo en equipo es una pieza fundamental en nuestras vidas.

Agradezco al director de este trabajo, Ing. Rafael Melgarejo, quien me dio la oportunidad para formar parte de este proyecto y que siempre estuvo presente para guiarme de la mejor manera. Gracias por los consejos, conocimientos y por ser un gran mentor.

Al Ing. Jorge Alarcón quien nos estuvo acompañando en el desarrollo de este trabajo aportando conocimientos de manera precisa para poder desarrollarlo correctamente.

A todos los profesores que han brindado sus conocimientos en las aulas y que me han ayudado a crecer personalmente.

Finalmente agradezco a todas las personas que han contribuido en el desarrollo de este trabajo de forma directa o indirecta.

Paúl Alexander Cortés Barahona

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres, Washington Zambrano y Yasmin Andrade, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Especialmente a mi madre quien me ha enseñado la perseverancia y la confianza en mi misma

Agradezco a mis hermanos, quienes me han estado en mis momentos difíciles y a encontrar la manera de alcanzar mis sueños pese a la adversidad.

A todos mis amigos que me han incentivado, ayudado y enseñado que el trabajo en equipo es fundamental en la vida.

Agradezco al Dphil. Rafael Melgarejo, quien me dio la oportunidad para formar parte de este proyecto, por los consejos, conocimientos, las anécdotas, por ser un gran mentor y un gran ser humano.

Al Ing. Jorge Alarcón quien nos estuvo acompañando en el desarrollo de este trabajo aportando conocimientos de manera precisa para poder desenvolverlo correctamente.

A todos los profesores que han brindado sus conocimientos en las aulas y me han enseñado equilibrio entre ser profesional y humano.

Diana Elizabeth Zambrano Andrade

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi padre Joel Cortés, quien me ha enseñado a aprovechar las oportunidades que se me presentan, a no tener miedo a fallar, a trabajar duro para poder conseguir mis objetivos y sobre todo a que siempre podemos superar cualquier obstáculo con perseverancia y dedicación.

A mi madre Olga Barahona, quien me ha acompañado en todo mi proceso de crecimiento personal, quien me enseñó a esforzarme al máximo y nunca darme por vencido. Por enseñarme que cualquier fallo tiene solución, a ser respetuoso con las personas y ayudarme a entender que cada día se aprende algo nuevo.

A mi hermana Gabriela Cortés, por ser mi ejemplo a seguir, quien me ha enseñado que el esfuerzo siempre se verá reflejado en todo lo que hacemos, que debo perseguir mis sueños y que siempre voy a poder contar con ella en cualquier momento de mi vida.

Paúl Alexander Cortés Barahona

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi madre Yasmin, quien me ha enseñado la perseverancia, a levantarme tras cada caída, que me enseñó a ver la luz en la oscuridad de los problemas de la vida.

A mi padre Washington, quien me ha enseñado el valor del trabajo honesto, la responsabilidad y la importancia de las prioridades en la vida.

Diana Elizabeth Zambrano Andrade

## Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Antecedentes.....	3
Capítulo 2: Marco teórico .....	6
2.1 Red.....	6
2.1.1 Red de datos .....	6
2.1.1.1 LAN .....	6
2.1.1.2 MAN .....	6
2.1.1.3 WAN.....	6
2.1.1.4 PAN.....	7
2.1.1.5 Servidores .....	8
2.1.1.6 Pach panel's.....	8
2.1.1.7 Hubs.....	8
2.1.1.8 Router.....	8
2.1.1.9 Protocolo .....	8
2.1.1.10 IP.....	9

2.1.1.11	IPv4 .....	9
2.1.1.12	IPV6.....	9
2.1.2	Redes Jerárquicas .....	10
2.1.2.1	Capa de acceso.....	10
2.1.2.2	Capa de distribución .....	10
2.1.2.3	Capa de núcleo.....	10
2.1.2.4	Beneficios .....	10
2.1.2.5	Principios y Consideraciones .....	11
2.2	INTERNET .....	11
2.3	TCP/IP .....	12
2.4	El backbone de Internet .....	13
2.4.1	Peering .....	14
2.4.1.1	Políticas de Peering .....	16
2.4.1.1.1	Open: .....	16
2.4.1.1.2	Selective:.....	16
2.4.1.1.3	Restrictive:.....	16
2.4.1.1.4	PeeringDB: .....	17
2.4.2	IXP.....	17
2.4.3	Sistema Autónomo .....	19
2.4.4	Principales protocolos para interconexión de AS .....	19
2.4.4.1	Interior Gateway Protocol (IGP) .....	19

2.4.4.1.1	Distance-vector routing (DVR): .....	19
2.4.4.1.2	Protocolo OSPF:.....	19
2.4.4.2	Protocolo IS-IS:.....	20
2.4.4.3	Border Gateway Protocol (BGP) .....	20
2.4.4.3.1	Características de BGP .....	20
2.4.4.4	Multiprotocol BGP(MP-BGP):.....	21
2.4.4.5	Multiprotocol Label Switching (MPLS):.....	21
Capítulo 3:	Infraestructura de Interconexión de las Redes avanzadas para la academia y la investigación en el Ecuador .....	23
3.1	El Internet “No Comercial” .....	23
3.2	Red Clara .....	24
3.2.1	vRNIE: Red Nacional de Investigación y Educación Virtual .....	25
3.3	CEDIA.....	25
3.4	Configuraciones Existentes por parte de CEDIA.....	27
3.4.1	Configuración estándar de equipos para miembros de CEDIA .....	27
3.4.1.1	Equipo Nokia Alcatel-Lucent 7705 sar-x (Tempest, 2020):.....	27
3.4.1.2	Equipo Router Cisco 7604 (CISCO, 2014).....	28
3.4.2	Configuración física en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador .....	28
3.4.3	Configuración física en la Escuela Politécnica Nacional .....	30
3.4.4	Riesgos de redes.....	31
Capítulo 4:	Análisis de factibilidad y diseño de un IXP .....	32

4.1	Contrato “Indefeasible Right of Use” (IRU).....	33
4.1.1	CAPEX .....	33
4.1.2	OPEX .....	34
4.1.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	34
4.2	Interconexión Nacional .....	36
4.2.1	TRANSELECTRIC.....	36
4.2.1.1	Infraestructura.....	36
4.2.1.2	Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).....	37
4.2.1.2.1	Cable de Guarda .....	38
4.2.1.3	Red de TransElectric .....	39
4.3	Propuesta de infraestructura.....	40
4.3.1	Diseño de la arquitectura del backbone de CEDIA .....	40
4.3.2	Factibilidad técnica .....	43
4.3.3	Estimación de costos .....	48
Capítulo 5:	Conclusiones y Recomendaciones .....	50
5.1	Conclusiones .....	50
5.2	Recomendaciones .....	51
Referencias	.....	52

## Índice de Figuras

Figura 1. Intercambio de valor en Internet global .....	18
Figura 2. Funcionamiento del BGP y MP-BGP.....	21
Figura 3 Ejemplo de una red MPLS .....	22
Figura 4 Estructura Lógica de conexión .....	27
Figura 5 Equipo Nokia Alcatel-Lucent 7705 sar-x.....	28
Figura 6 Router Cisco 7604 .....	28
Figura 7 Estructura de conexión actual CEDIA-PUCE .....	29
Figura 8 Router Cisco 7200 VXR .....	29
Figura 9 Equipos Cisco VXR 7200 y Alcatel-Lucent 7705 sar-x .....	30
Figura 10 Equipo Router Cisco 7604 .....	30
Figura 11 Equipo Alcatel-Lucent 7705 sar-8 .....	30
Figura 12 Equipo Router Cisco 7604 .....	30
Figura 13. Estructura de las líneas de Transmisión.....	36
Figura 14 Arquitectura de referencia empresarial de Purdue SCADA .....	38
Figura 15 Red de transmisión eléctrica .....	39
Figura 16 Propuesta de Infraestructura .....	41
Figura 17 Cisco 4461 Integrated Services Router (ISR).....	43
Figura 18 Porcentaje de viabilidad en el proyecto .....	48

## Índice de tablas

Tabla 1 Descripción de Modelo OSI.....	7
Tabla 2 Descripción modelo TCP/IP .....	13
Tabla 3 AS ranking .....	15
Tabla 4 Ventajas y Desventajas CAPEX.....	35
Tabla 5 Ventajas y Desventajas OPEX .....	35
Tabla 6 Factibilidad Técnica de TransElectric .....	43
Tabla 7 Costos de equipos físicos.....	48
<i>Tabla 8 Costos por Mbps del tráfico de peering .....</i>	<i>49</i>

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1 Planteamiento del Problema

La academia y la investigación deben adaptarse al vertiginoso y constante avance tecnológico que va más allá de lo que ofrece el Internet comercial, pues a través de las redes académicas y de investigación se efectiviza la colaboración y la innovación. Quienes llevan el liderazgo son las universidades del primer mundo que usan habitualmente estas redes. Desde la primera década del milenio, las universidades y centros de investigación del primer mundo han promovido la interconexión de universidades latinoamericanas (y de otras regiones) a sus redes académicas y de investigación. Esta oportunidad de interconexión se la ha gestionado conforme a las particularidades de la región y de cada país, dando como resultado varios modelos de interconexión que dependen sea del gobierno, de la provisión privada o de los acuerdos entre las universidades; complicando de esta manera el flujo de datos, la colaboración y los resultados de la investigación.

Entre todos los elementos necesarios para la interconexión, la disertación se concentra en el IXP. El Internet Exchange Point (IXP o Punto Neutro en español) es una infraestructura física que administra el tráfico de datos en un punto de convergencia entre varias redes locales o proveedores de servicios, haciendo eficiente el intercambio de datos. A manera de ejemplo, se considera el envío de un email (o correo electrónico) entre una dirección cuyo dominio es puce.edu.ec a otra con dominio espol.edu.ec; el IXP realiza el intercambio de una red a otra localmente sin necesidad de enviar el email al Internet comercial a través de proveedores privados de tráfico de datos. Si el remitente del email inicial (puce.edu.ec) envía al dominio puc.cl, lo ideal es que al IXP converja el punto de acceso a la Red CLARA que es la red de ciencia y tecnología latinoamericana.

Por lo expuesto, se ha considerado investigar sobre la importancia y el impacto que tendría la instalación de un IXP en la “red de ciencia y tecnología ecuatoriana”. Se ha puesto entre comillas esta red porque parte del análisis es determinar si existen las redes físicas de universidades y centros de investigación en el Ecuador que puedan converger al posible IXP, sin la provisión privada. El estudio de factibilidad incluye el análisis de los posibles riesgos asociados a la provisión privada del tráfico de datos desde y hacia las redes avanzadas de ciencia y tecnología internacionales.

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo de titulación es parte integral del proyecto de investigación “Evolución del Internet en el Ecuador hacia una red autónoma de ciencia y tecnología ecuatoriana”, financiada por la PUCE, dirigida por el DPhil Rafael Melgarejo. El trabajo de titulación se llevará a cabo para verificar la factibilidad de instalar un IXP para la Red de Ciencia y Tecnología del Ecuador con ayuda de CEDIA, ya que no existe un IXP físico propio, sino que se maneja en forma lógica un backbone arrendado a una empresa privada poseedora tanto del enlace principal como el de respaldo. Si las universidades y centros de investigación contarían con un backbone propio, sea principal o de respaldo, la pregunta es: ¿si es necesario o no implementar un IXP para la esta Red? De serlo, se dimensionarán los equipos necesarios y se cuantificarán los costos respectivos. Se considera que el IXP agiliza la comunicación e intercambio de datos, en este caso en el sector académico y de investigación.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar la factibilidad de implementación de un Punto de Intercambio de Red (Internet Exchange Point, IXP) para las redes académicas y de investigación del Ecuador, mediante investigación teórica y práctica.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la estructura y propósito de un IXP mediante investigación teórica, para comprender el funcionamiento de un IXP.
- Conocer el estado actual de las redes académicas y de investigación del país por medio de visitas técnicas a instituciones y universidades que forman parte de la red avanzada, estudiando la configuración del enlace físico in situ a dicha red.
- Estudiar los requerimientos técnicos y físicos para implementar un IXP para la red ecuatoriana de ciencia y tecnología.
- Analizar la factibilidad de implementación de un IXP en CEDIA, considerando que se utiliza un backbone propio o de un proveedor no privado.
- Diseñar el IXP de la red avanzada de ciencia y tecnología ecuatoriana, considerando un enlace de proveedor privado, y otro de una empresa del gobierno como TransElectric y/o CNT.

## 1.4 Antecedentes

Desde 1987 hasta 1995, La NSF, Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América (EE. UU), mediante el proyecto NSFNET, financió la expansión del Internet a las universidades tanto de EE. UU como de otras partes del mundo, incluidas las latinoamericanas (Internet Archive WayBack Machine, 2019). Por un lado, la Corporación Interinstitucional de Comunicación Electrónica, Intercom, que formaba parte de la red mundial del Institute for Global Communications/Alliance for Progressive Communications (IGC/APC) otorgó a EcuaneX, una compañía privada, un nodo de acceso a Internet en 1991 (Rivera Costales, 2012). EcuaneX fue el primer nodo de red ecuatoriano en conectarse a Internet en 1991 (El Comercio, 2014). EcuaneX conectaba al mundo a unas pocas organizaciones ecuatorianas tales como: Acción Ecológica, Agencia Latinoamericana de Información, Centro Andino De Acción Popular, Consejo Nacional

de Universidades y Escuelas Politécnicas (hoy SENESCYT), y las universidades FLACSO y Andina Simón Bolívar (Rivera Costales, 2012).

Por otro lado, en 1992, el Banco del Pacífico junto con la Escuela Politécnica del Litoral, la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y la Junta de Beneficencia de Guayaquil crean la fundación Ecuonet para la provisión del Internet con la infraestructura de red del Banco del Pacífico (Baquero Dirani, 2015). Ecuonet lideró la provisión del Internet a universidades, empresas privadas y personas naturales, iniciándose de esta manera la comercialización del Internet en el Ecuador (Romero, 2015). En conclusión, los nodos de Ecualex y de Ecuonet conectaron a algunas universidades ecuatorianas con el Internet, sin que exista una red avanzada de cooperación entre universidades ecuatorianas; fue la iniciativa de ONGs y de la empresa privada que proveyeron el acceso a Internet, en este caso lo que se denomina el Internet comercial.

En marzo de 2002, ocho universidades ecuatorianas se reunieron con los representantes de las redes avanzadas de México (CUDI), Brasil (RNP) y EE. UU (Internet2), para crear un Consorcio de universidades que permita el acceso a las redes avanzadas, esto es, el Internet no comercial, o redes académicas y de investigación (CEDIA, 2002). En septiembre del mismo año se firma la creación del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado, CEDIA (IBID). Los miembros iniciales fueron: la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela Politécnica Nacional, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Universidad de las Fuerzas Armadas, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Universidad Nacional de Loja, Universidad Técnica Particular de Loja, Instituto Nacional de pesca y el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador más la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones y la Vicepresidencia Constitucional de la República del Ecuador (IBID).

En sus inicios, el objetivo principal de CEDIA fue el mejorar el costo de acceso al Internet comercial. Este objetivo ha permanecido hasta el momento actual. Sin embargo, desde el año

2006 en que CEDIA se conectó a la red avanzada latinoamericana, auspiciada por la Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas (CEDIA, 2002), CLARA, el uso de la red avanzada está incrementándose.

Por un lado, la expansión del internet comercial, en el Ecuador, fue desordenada respondiendo a intereses y competencia entre proveedores privados únicamente. Recién en el año 2001, los proveedores privados deciden colaborar entre ellos y crear un IXP, logrando abaratar costos y mejorando el servicio y costo de provisión de internet; ya que, al colaborar, intercambian directamente entre ellos el tráfico de datos sin tener que enviarlo a puntos de interconexión de Internet en el extranjero. Por otro lado, las universidades ecuatorianas desarrollaron redes internas y ninguna interconexión entre ellas, tal vez demostrando la nula colaboración o aprovechamiento eficiente de los recursos tecnológicos; por ello, nunca se pensó en un IXP académico.

## Capítulo 2: Marco teórico

### 2.1 Red

La red procede del latín “rete”, el cual es sinónimo de malla. Una red es una estructura que cuenta con un patrón característico. Hacer referencia a la interconexión de dispositivos que comparten recursos (Pérez Porto, Definición de red, 2008).

#### 2.1.1 Red de datos

Es una infraestructura la cual con su diseño permite la transmisión de información a través del intercambio de datos. Por lo general, estas redes se basan en la conmutación de paquetes. Pueden clasificarse de distintas maneras de acuerdo con la arquitectura física, el tamaño y la distancia cubierta (Pérez Porto & Merino, RED DE DATOS, 2014).

Las redes de datos están clasificadas como (ECURED, 2020):

##### 2.1.1.1 LAN

Local Area Network o red de área local, es una red limitada de conexión entre equipos dentro de un inmueble (edificio, oficina, campus, etc.)

##### 2.1.1.2 MAN

Metropolitan Area Network o red de área metropolitana, es una red diseñada para la conexión de una a lo extenso de una ciudad entera.

##### 2.1.1.3 WAN

Wide Area Network o red de área amplia, es una red que proporciona un medio de transmisión en grandes extensiones geográficas.

#### 2.1.1.4 PAN

Personal Area Network o red de área personal, es una red de alcance limitado (pocos metros) para interconectar dispositivos propios.

Cada red de datos puede tener su propia manera y lenguaje de comunicación, esto es para el envío y recepción de señales eléctricas, electrónicas, electromagnéticas o digitales. Con el fin de interconectar diferentes redes es necesario que ambas tengan las mismas funciones de telecomunicación. Por esta razón, actualmente hay un modelo estándar de interconexión, denominado modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISO/IEC 7498-1), conocido como **modelo OSI** (Open System Interconnection), que se compone de 7 niveles lógicos, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Descripción de Modelo OSI

Fuente: (Rendón Anaya, 2020)

MODELO OSI				
CAPA		Unidad de protocolos de Datos (PDU)	Función	
Capa de Host	7	Aplicación	Datos	Controla las funciones a realizar de programas de usuario. Soporta protocolos: BGP, DHCP, SSH, entre otros
	6	Presentación		Da formato a los datos para que sean entendibles para la capa de aplicación.
	5	Sesión		Manejo independiente de sesiones para cada aplicación
	4	Transporte	Segmentos Datagramas	Envío de paquetes de extremo a extremo, soporta protocolos TCP/IP, UDP, RSVP, entre otros
Capa de Medio	3	RED	Paquetes	Direccionamiento lógico de paquetes mediante IP asignada al dispositivo, ruteo de paquetes, maneja protocolos IP (IPv4, IPv6), IPX
	2	Enlace	Trama	Direccionamiento físico a través de las MAC (Medium Access Control) del equipo.
	1	Física	Símbolo	Transmisión y recepción binaria de información. Utiliza los protocolos IEEE, MIME.

Para su funcionamiento, las redes utilizan los siguientes elementos principalmente:

#### 2.1.1.5 *Servidores*

Es un ordenador o máquina informática que está al “servicio” de otras máquinas, ordenadores o personas llamadas clientes y que suministran todo tipo de información (Sierra García, 2012).

#### 2.1.1.6 *Patch panel´s*

Funciona un organizador de las conexiones de red, para que los elementos relacionados de la Red LAN y los equipos de la conectividad puedan ser fácilmente incorporados al sistema. Las conexiones se realizan con “patch cords” o cables de parcheo, que son los que entrelazan en el panel los diferentes equipos (dstecnologia, 2020).

#### 2.1.1.7 *Hubs*

Conocido como concentrador, que permite centralizar el cableado de una red de computadoras (Sanchez Iglesias, 2019).

#### 2.1.1.8 *Router*

Conocido como enrutador, es un dispositivo que permite interconectar computadoras, se encarga de establecer la ruta que destinará a cada paquete de datos dentro de una red (Fisher, 2019).

#### 2.1.1.9 *Protocolo*

Es un conjunto de normas con los que se regulan la comunicación entre dos o más sistemas que comparten información a través de medios físicos. Al seguir un mismo protocolo hay garantía de que existe compatibilidad entre los dispositivos que van a intercambiar información (Raffino, 2019).

#### 2.1.1.10 *IP*

Internet Protocol, son números binarios que identifican una interfaz específica de manera única en la red, se expresan en forma decimal (IPv4) o hexadecimal (IPv6) para facilitar su lectura y entendimiento por parte del ser humano (PAESSLER, 2020).

#### 2.1.1.11 *IPv4*

IPv4 utiliza un esquema de direcciones de 32 bits que permite un total de 2 a la potencia de 32 direcciones o un poco más de 4 mil millones de direcciones. Las direcciones IPv4 se escriben, en la mayoría de los casos, con 4 números decimales que van del 0 al 255 y están separadas por un punto, ejemplo: 192.188.256.23. El modelo asegura la identificación única en el Internet, de tal manera que no existan dos usuarios con el mismo número de IP. Su tarea principal es transferir los bloques de datos desde el host de envío al host de destino, donde los remitentes y los receptores son ordenadores que se identifican de forma única por las direcciones de protocolo de Internet.

#### 2.1.1.12 *IPV6*

El IPv6 es la versión más reciente del IP el cual nace para reemplazar al IPv4 al soportar una cantidad enorme de direcciones. IPv6 utiliza un esquema de direcciones de 128 bits, representados como 8 grupos separados por los dos puntos “:”, o que son traducidos a 4 dígitos hexadecimales; ejemplo: 2001:0db8:0000:0000:0000:8a2e:0370:7334 se transforma en: 2001:db8::8a2e:370:7334. IPv6 proporciona otros beneficios técnicos además de un espacio de direccionamiento más grande. En particular, permite métodos de asignación de direcciones jerárquicas que facilitan la agregación de rutas a través de Internet y, por lo tanto, limitan la expansión de las tablas de enrutamiento. El uso del direccionamiento de multidifusión se amplía y simplifica, y proporciona una optimización adicional para la prestación de servicios. La

movilidad del dispositivo, la seguridad y los aspectos de configuración se han considerado en el diseño del protocolo.

## 2.1.2 Redes Jerárquicas

Hay un punto central al que se conectan otros puntos de primer rango (nodos) que, a su vez, tienen conectados nodos de segundo rango, y así sucesivamente.

Este modelo este compuesto por tres capas:

- Núcleo
- Distribución
- Acceso

### 2.1.2.1 *Capa de acceso*

Hace interfaz con dispositivos finales (PC's, impresoras, teléfonos IP, etc.), para proveer acceso al resto de la red a través de routers, conmutadores, hubs, puentes y puntos de acceso inalámbricos.

### 2.1.2.2 *Capa de distribución*

Controla el flujo de información de la capa de acceso mientras realiza el enrutamiento entre las VLAN (Virtual Local Area Network) que se han determinado, permitiendo así implementar políticas de seguridad.

### 2.1.2.3 *Capa de núcleo*

Emplea un backbone de alta velocidad que una routers que proveerán el acceso a internet y que unirán las distintas secciones de la red en una sola red.

### 2.1.2.4 *Beneficios*

- Escalabilidad: Puede crecer y seguir manteniendo su estructura.

- Redundancia: Muy importante cuando crece una red.
- Seguridad: utilizando conmutadores permite configurar seguridad de puerto.
- Rendimiento: Mejora comunicación al utilizar conmutadores de alto rendimiento.
- Fácil Administración: Se puede reutilizar configuración de conmutadores.
- Fácil Mantenimiento debido al modularidad, al escalar(crecer) la red (Del Barrio, Beneficios de una Red Jerárquica, 2012).

### 2.1.2.5 Principios y Consideraciones

- Diámetro de Red: mide el número de dispositivos que se cruzara para llegar a su destino.
- Es importante que sea bajo para mantener baja la latencia. (La latencia es producida por cada dispositivo al procesar un paquete o una trama).
- Agregado de ancho de banda: Utiliza enlaces múltiples.
- Enlaces redundantes: Asegura alta disponibilidad.
- (Del Barrio, Principios y Consideraciones de la Red Jerárquica, 2012).

## 2.2 INTERNET

El Internet es la red de redes más grande del mundo (Pérez Porto, INTERNET, 2008). Esta conexión es posible gracias a un protocolo estándar de comunicación llamado TCP/IP. TCP/IP fue desarrollado por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa de EE.UU, DARPA (DARPA, 2020), con el objetivo de enviar mensajes seguros de un punto a otro independientemente de las redes de comunicaciones que sean necesario atravesar. Es posible enviar un mensaje en forma segura porque el emisor lo divide en paquetes o datagramas, que, en forma conmutada, viajan por diferentes redes (vías o caminos) hasta su destino final donde son agregados para formar el mensaje original. En cada paquete está la dirección, que debe ser única, del destinatario.

El TCP/IP fue tan exitoso que del ARPANET fue utilizado también en las redes entre universidades de EE. UU que crearon su propia infraestructura de red para el intercambio de información en proyectos académicos y de investigación. El gobierno norteamericano observó el éxito de estas redes y designó a la Fundación Nacional de Ciencias, NSF, para llevar adelante un proyecto de interconexión de más universidades, incluyendo extranjeras, denominado NSFNET (Internet Archive WayBack Machine, 2019). Los costos de interconexión y mantenimiento, así como la presión de la empresa privada, obligaron a la NSF a cambiar de modelo de negocio y pasar a la provisión privada (Internet Society, 2020). Las compañías proveedoras de Internet abrieron el servicio de conexión a Internet a la empresa privada y a personas naturales desde 1993 (IBID). De esta manera el Internet empieza su expansión comercial, sobrepasando la intención académica y de investigación que tuvo en el momento posterior a la liberación del TCP/IP por parte del gobierno de EE. UU (IBID).

## **2.3 TCP/IP**

El modelo TCP/IP es un protocolo de comunicación basado en el modelo teórico OSI con el cual comparten 4 capas en común, pero el modelo TCP/IP ofrece muchas más opciones y es un modelo práctico.

El TCP es un protocolo de control de transmisión fiable que establece una conexión y el intercambio de datos entre ambos anfitriones.

El IP o protocolo de internet, es aquel que lleva los datos a otras máquinas de la red, utilizando direcciones de cuatro octetos con formato de punto decimal (Robledano, 2019).

El manejo de cada protocolo por capa se puede evidenciar en la Tabla 2:

Tabla 2 Descripción modelo TCP/IP

Fuente: (Quiroga, 2016)

MODELO TCP/IP			
CAPA		Unidad de protocolos de Datos (PDU)	Función
4	Aplicación	Datos	Controla las funciones a realizar de programas de usuario. Soporta protocolos: BGP, DHCP, SSH, HTTP, DCHP, POP, entre otros.
3	Transporte	Segmentos Datagramas	Envío de paquetes de extremo a extremo, soporta protocolos TCP/IP, UDP, entre otros
2	Internet	Paquetes	Direccionamiento lógico de paquetes mediante IP asignada al dispositivo, ruteo de paquetes, maneja protocolos IP (IPv4, IPv6), NAT, OSPF, EIGRP
1	Acceso a Datos		Direccionamiento físico a través de las MAC (Medium Access Control) del equipo, maneja los protocolos ARP, PPP, Ethernet.

## 2.4 El backbone de Internet

Los datos en Internet fluyen en paquetes a través de diferentes proveedores de tráfico, desde el origen hasta el destino. Norton (Norton, 2014) explicó cómo se organizaron los proveedores de tráfico de Internet. Inicialmente, los proveedores de servicios de Internet (ISP) intercambiaban tráfico de Internet de forma gratuita entre ellos (IBID). Con el constante crecimiento de Internet, los ISP se especializaron y regionalizaron, desarrollaron nuevos modelos de negocios para el tránsito de datos que dieron forma a un backbone privado de Internet (IBID). Cuando hay reciprocidad entre los ISP, intercambian flujos de datos y acceso a las rutas de clientes de sus pares (no a los servicios de tránsito de sus pares). Este último se conoce como Internet peering (IBID). El emparejamiento es de acuerdo libre debido al valor derivado de las relaciones recíprocas difíciles de calcular (IBID). En resumen, el intercambio de información se produce entre proveedores de la misma valía, que confían en el valor actual y futuro del intercambio (IBID). El emparejamiento necesita un protocolo, el cual es el BGP, un "protocolo de enrutamiento del

sistema inter-autónomo" (RFC 4271, 2006), para intercambiar información de enrutamiento y accesibilidad entre (BGP exterior) y dentro de los pares (BGP interno).

El diseño de la infraestructura de Internet de la década de 1990 descrita por Norton a continuación permanece en términos generales hasta el presente. El Nivel 1 es un ISP que controla una región, que solo se relaciona con los ISP de otras áreas, integrando el "The Tier 1 Club", que no paga el tránsito, pero cobra a los transportistas menores como el Nivel 2 y los Proveedores de Contenido (CDN) (Norton, 2014). El emparejamiento del club de nivel 1 es *laissez-faire* ("dejar pasar") porque ocurre sin interferencia del gobierno. Al tratar de reducir el costo de tránsito (valor para la interconexión), un ISP de Nivel 2 busca emparejarse con otro Nivel 2 en un lugar conveniente para ellos, llamado IXP (Internet eXchange Point): Punto de intercambio de Internet (IBID). El emparejamiento dentro de un IXP puede ser público o privado: privado se refiere a una capa dedicada de dos circuitos entre dos partes, mientras que el emparejamiento público se produce a través de un dispositivo compartido entre los ISP, como un conmutador Ethernet (IBID). La interconexión de nivel 2 también puede ser *laissez-faire*. Las redes de acceso (a veces denominadas Nivel 3) son los ISP de usuario final que pagan el tránsito al Nivel 2 o Nivel 1. Los proveedores de contenido no observan el tráfico de Internet; pagan por el Nivel 2, Nivel 1 o Redes de entrega de contenido (CDN) (Norton, 2014).

### 2.4.1 Peering

En el peering, todos los tipos de proveedores de servicio de internet, de contenido, de servicios de red y compañías con su propia red se pueden interconectar para intercambiar datos sin desvíos a través de terceros y en la mayoría de los casos partiendo de un coste neutral. Como norma, esto tiene lugar en un punto de intercambio de internet (IX por sus siglas en inglés) o punto neutro. Este es el punto en el que se encuentran las redes asociadas. (Richter, et al., 2014)

La evolución de las prácticas de emparejamiento (Nipper, 2018) con convenios secretos, el crecimiento de CDN (Content Delivery Network) y proveedores de contenido y servicios (CSP) como Google, Amazon, Facebook, Yahoo y su interdependencia con los antiguos proveedores de tráfico puro (CAIDA, 2020) ,hacen que se complique clasificar a los proveedores de Internet como Nivel 1 o 2. Para CAIDA, ambos son redes independientes o Sistemas Autónomos (AS). CAIDA clasifica a los AS según su influencia en el sistema de enrutamiento global. En febrero de 2020, de 93953 AS, había diez Tier 1 que brindaban servicios de tránsito, cada uno a al menos el 10% de todos los AS (CAIDA, 2020).

En la tabla 3 se puede observar el ranking de los 10 AS con mayor asignación de números AS

*Tabla 3 AS ranking  
Fuente: (CAIDA, 2020).*

AS Rank	AS Number	Organization	Country	%ASN
1	3356	Level 3 Parent, LLC	EE. UU	40.05
2	1299	Telia Company AB	Suecia	32.23
3	174	Cogent Communications	EE. UU	29.01
4	2914	NTT America, Inc.	EE. UU	22.28
5	3257	GTT Communications Inc.	Alemania	22.08
6	6762	TELECOM ITALIA SPARKLE S.p.A.	Italia	17.61
7	6939	Hurricane Electric LLC	EE. UU	17.29
8	6453	TATA COMMUNICATIONS (AMERICA) INC	EE.UU. -India	16.2
9	3491	PCCW Global, Inc.	EE. UU	10.41
10	6461	Zayo Bandwidth	EE. UU	10.05

La interconexión pública, realizada a través de un intercambio de Internet, es más común y eficiente. Un intercambio de Internet es un Conmutador en una instalación de colocación, a la que se conectan todas las redes que quieren intercambiar tráfico de datos. Mediante el intercambio de Internet, una red puede estar conectada con muchas otras redes a través de una sola conexión. Los arreglos entre pares negocian con cada par, pero no es necesario realizar un nuevo cableado.

La interconexión privada, dentro de una instalación de colocación combina ambos enfoques. Dos redes colocan enrutadores en el mismo edificio, pero pasan un cable directo entre ellos en lugar

de conectarse a través del Conmutador. Esta interconexión es útil cuando las redes intercambian un gran volumen de tráfico, que no cabe en una conexión compartida a un punto de intercambio (NETDOT, 2019).

#### 2.4.1.1 *Políticas de Peering*

Para poder establecer una interconexión, los candidatos que desean realizar Peering deben revisar las condiciones y requisitos de la red, de la misma manera los requisitos operacionales y aceptar dichas condiciones (MDC Data Centers, 2018).

##### 2.4.1.1.1 Open:

Operadores que manejan una política abierta de peering son aquellos que intercambian tráfico con cualquier red sin requerimientos previos. Ejemplos de operadores con política abierta de peering son Google, Netflix, Amazon, Akamai y Cloudflare (IBID).

##### 2.4.1.1.2 Selective:

Aquellos operadores que manejan una política de peering selectiva se los puede reconocer porque el operador condiciona el intercambio de tráfico por algunos requisitos o criterios. Algunos ejemplos incluyen a Microsoft, Facebook, Limelight y Salesforce (IBID).

##### 2.4.1.1.3 Restrictive:

Parecido a la política selectiva, aquellos operadores restrictivos exigen requisitos para poder realizar una interconexión. Sin embargo, la mayoría de los casos suelen inclinarse a no realizar ninguna interconexión. Como ejemplo se incluyen a la mayoría de los operadores Tier-1 como Telia Carrier, TATA Communications, Sparkle y NTT (IBID).

#### 2.4.1.1.4 PeeringDB:

Es el repositorio online más grande de operadores de libre acceso. Esta base de datos facilita la interconexión de redes a manera global, la cual viene a ser la primera instancia para poder tomar una decisión de interconexión.

#### 2.4.2 IXP

Internet es la “red de redes” y actualmente comprende unas 93.953 redes discretas o sistemas autónomos (CAIDA, 2020). La forma en que estas redes se interconectan e intercambian tráfico es fundamental en la estructura de Internet que conocemos. La arquitectura de red resultante de acuerdos comerciales entre países y de tránsito para el tráfico determinan en definitiva la capacidad de acceso de los usuarios finales, el contenido intercambiado y recibido, el correo electrónico y otro tráfico de Internet, incluidos los medios sociales y el vídeo por demanda. Evidentemente, hoy en día la forma en que se gestiona una IXP repercute en la economía Internet de toda una región. Las IXP son las piezas fundamentales locales para la interconexión y el intercambio de tráfico; se trata de instalaciones técnicas donde todos los proveedores de servicios de Internet, ISP, de una localidad o región, se interconectan directamente entre sí. Estos puntos de intercambio (centrales) permiten el acuerdo entre pares locales del tráfico doméstico, reducen el número de saltos en la red para el intercambio de tráfico, aumentan el número de opciones de encaminamiento disponibles, optimizan el uso de la conectividad de Internet internacional, mejoran la robustez de la red (y potencialmente la calidad de servicio), reducen los costes de transmisión y pueden incrementar la tasa de penetración de Internet y su utilización a largo plazo. Los operadores y los proveedores de servicios Internet (ISP) pueden aprovechar los costes de capacidad internacional reducidos (en millones de dólares al año) (Consideraciones generales sobre el FMPT, 2013).

Cualquier red que quiera emparejarse con otras redes puede conectarse a un punto de intercambio. Tradicionalmente, esto significaba que los ISP venden acceso a Internet a sus clientes como usuarios finales, y empresas o instituciones cuyo negocio no es el tránsito de datos. Se interconectarían entre sí en los puntos de intercambio para permitir que sus clientes se comuniquen. Más recientemente, los clientes de punto de intercambio a menudo son proveedores de contenido, que se relacionan con los ISP para llevar su contenido a los clientes de los ISP. Los proveedores de contenido también se conectan a puntos de intercambio para intercambiar tráfico entre ellos.

En la figura 1 se puede apreciar la red troncal de Internet; '\$' Indica quién recibe el valor económico, 'T' quién recibe los servicios de tránsito, y una sola línea indica emparejamiento o sin liquidación.

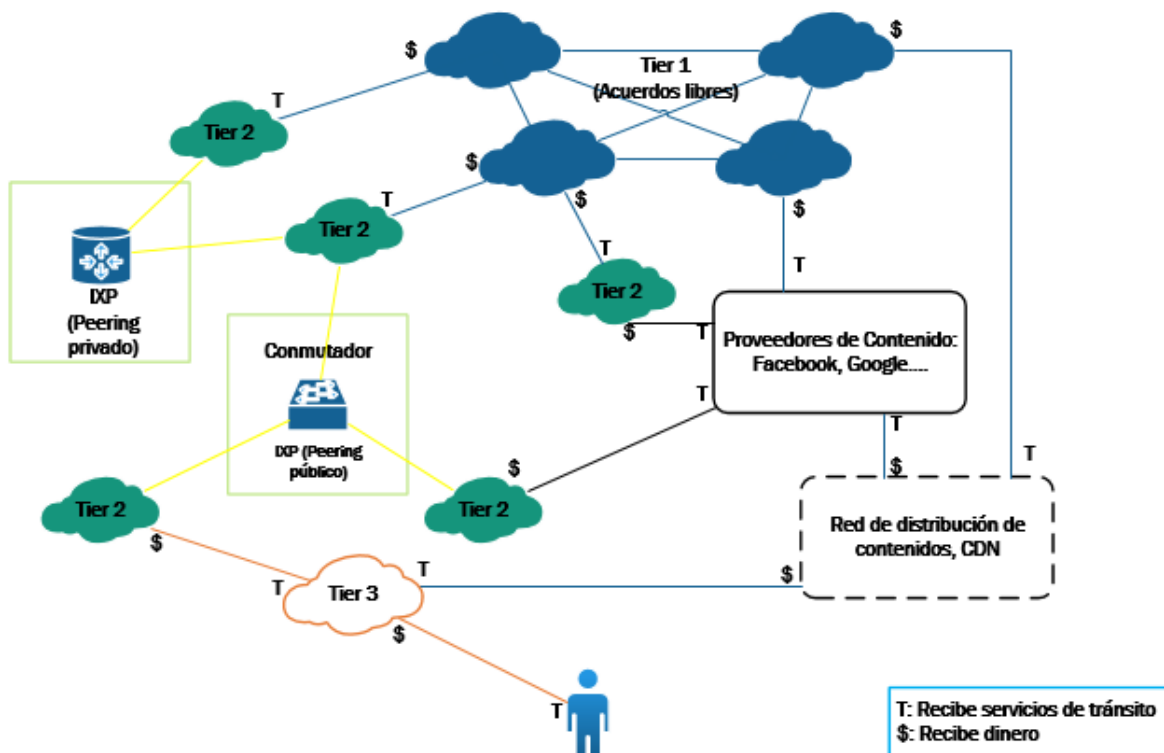


Figura 1. Intercambio de valor en Internet global  
Fuente: (Norton, 2014)

### 2.4.3 Sistema Autónomo

Un Sistema Autónomo (AS) se lo puede definir como un conjunto de redes IP, las cuales poseen una política de rutas independiente. Se les asigna un número de sistema autónomo (ASN), el cual identifica de manera única a cada red en el Internet.

Los sistemas autónomos se introdujeron para poder regular las organizaciones como proveedores de internet (ISP), instituciones educativas y organismos gubernamentales. Las redes que están dentro de un AS comunican información de enrutamiento entre ellos mediante un protocolo de puerta de enlace interior (IGP). Un AS comparte información de enrutamiento con otros AS mediante el Border Gateway Protocol (BGP)

### 2.4.4 Principales protocolos para interconexión de AS

#### 2.4.4.1 *Interior Gateway Protocol (IGP)*

Es el protocolo de puerta de enlace interior, es aquel que determina si la red es accesible desde el AS, para resolver el encadenamiento de las redes internas.

Este protocolo está dividido en dos categorías:

- Distance-vector
- Link-state (OSPF, IS-IS.) (RedesPracticas, 2020).

##### 2.4.4.1.1 Distance-vector routing (DVR):

Conocido como algoritmo Bellman-Ford, es un protocolo de enrutamiento el cual requiere que un enrutador informe periódicamente a sus vecinos sobre los cambios de topología (Sharan, 2020).

##### 2.4.4.1.2 Protocolo OSPF:

Open Shortest Path First Es un protocolo de enrutamiento diseñado para interconectar redes jerárquicas. OSPF utiliza el algoritmo Dijkstra para definir cuál es el camino más corto. La métrica

se forma a partir de una sencilla operación en la cual el valor que establece el resultado el parámetro "bandwidth" de cada interfaz física. (RedesPracticas, Protocolo OSPF, 2020)

#### 2.4.4.2 *Protocolo IS-IS:*

Intermediate System - Intermediate System, es un protocolo de estado de enlace. Emplea el algoritmo de Dijkstra para establecer el camino más corto. La métrica es el costo de los enlaces y en el caso de los enrutadores Cisco. IS-IS no utiliza el protocolo IP para transmitir información entre enrutadores. Cada enrutador posee un identificador el cual es una dirección CLNS (ConnectionLess-mode Network Service), un sistema diseñado por DEC (Digital Equipment Corporation) y donde los hosts de una red son ES (End Systems) y los enrutadores son IS (Intermediate Systems). (RedesPracticas, PROTOCOLO IS-IS, 2020)

#### 2.4.4.3 *Border Gateway Protocol (BGP)*

Es el protocolo de enlace adyacente el cual es utilizado entre el proveedor de servicios de internet (ISP) y Sistema Autónomo (AS).

El propósito de este protocolo es encontrar el camino más eficiente entre los nodos para favorecer una correcta circulación de la información en Internet. (Rocha, 2018)

##### 2.4.4.3.1 *Características de BGP*

Permite (Singh, 2017):

- La comunicación entre sistemas autónomos para la configuración del enlace y de la transmisión de datos.
- Establecer la Información de la ruta: destino accesible y el próximo par de destinos.
- El soporte de políticas que el administrador considere necesarias.
- Ejecución sobre TCP/IP
- Conservar el ancho de banda de la red

- Compatibilizar el enrutamiento entre dominios sin clases (CIDR).

#### 2.4.4.4 Multiprotocol BGP(MP-BGP):

El cual está encargado de identificar la familia de IPs y los servicios ofertados por el proveedor (CEDIA).

La Figura 2 muestra el funcionamiento del BGP entre tres ASs. AS1 y AS3 se conectan al AS2 el cual posee enrutadores BGP con identificación de la IP del router al que se encuentra conectado, así este se comunica con cada AS. El AS2 organiza las rutas internas a través de un IGP, que en la Figura toman el nombre de “Enrutadores no BGP”.

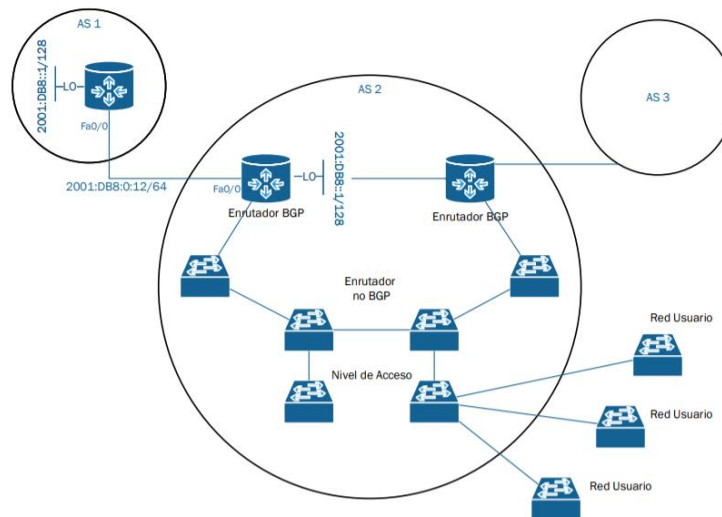


Figura 2. Funcionamiento del BGP y MP-BGP.  
Fuentes: (LA ROSA, 2019), (Molenaar, 2020)

#### 2.4.4.5 Multiprotocol Label Switching (MPLS):

Es un mecanismo que enruta el tráfico de datos dentro de una red de telecomunicaciones (Equipo Editorial, 2018); utilizando el Protocolo LDP: Label Distribution Protocol, el cual define caminos LSP (Label Conmutadored Path ) basándose en las métricas IGP manejadas en la red, asociando un grupo de prefijos de destino FEC (Forwarding Equivalence Class) con un LSP específico (Auben, 2020).

En la figura 3 se puede observar el funcionamiento de una red MPLS, especificando las técnicas que posee la red. Se puede observar cómo los LER (Label Edge Router o enrutador de frontera de etiquetado) son los elementos fronterizos en la conexión, mediante los LSR (Label Switching Router o enrutador de conmutación de etiquetas) se envían los paquetes de información en toda la red

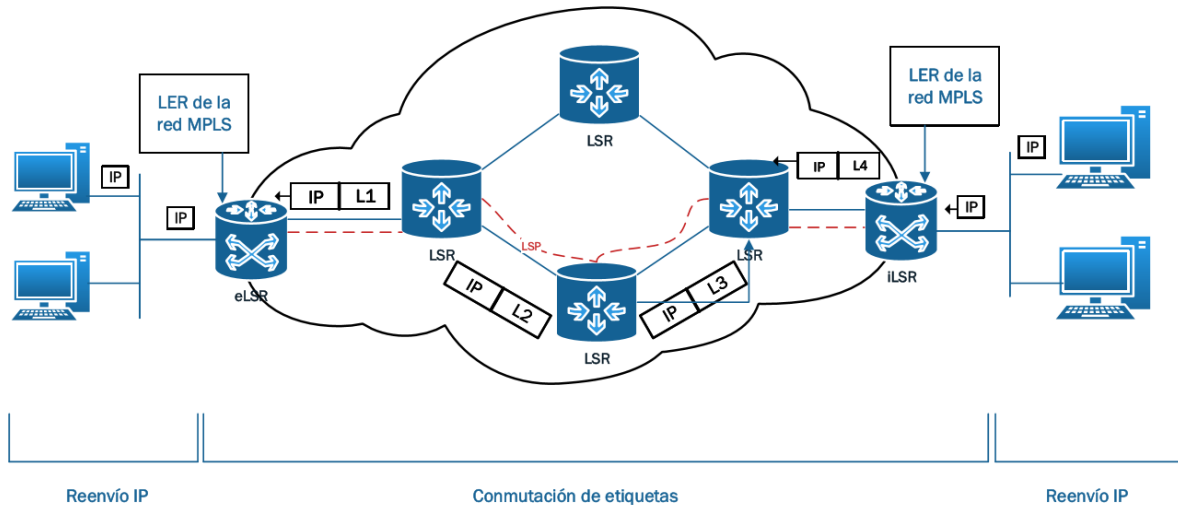


Figura 3 Ejemplo de una red MPLS  
Fuente: (Moya Huidobro & Millán Tejada, 2002)

## **Capítulo 3: Infraestructura de Interconexión de las Redes avanzadas para la academia y la investigación en el Ecuador**

CEDIA es la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia, conformado por las universidades ecuatorianas y centro de investigación del país. CEDIA es quien administra la interconexión sus miembros tanto al Internet comercial como a las Redes Avanzadas como CLARA la red latinoamericana de homólogos y pares académicos y científicos.

En este capítulo se presenta el estado actual de CEDIA y el resultado del análisis realizado in situ, en tres lugares (CEDIA, PUCE, EPN) acerca de la interconexión de las redes avanzadas.

### **3.1 El Internet “No Comercial”**

Cuando se consideró la necesidad de acceder a la información pública de distintos países y continentes para que exista una contribución de ciencia y tecnología fue necesaria la creación de organizaciones para administrar las redes académicas y de investigación. De esta manera nace GÉANT, que es el backbone de investigación y educación pan-europeo de alto ancho de banda el cual interconecta las Redes Nacionales de Investigación y Educación (NREN) en toda Europa y ofrece conectividad mundial a través de enlaces con otras redes regionales.

Desde su creación, GÉANT ha desarrollado de manera progresiva para asegurar que los investigadores europeos lideren la colaboración global e internacional a través su backbone diariamente, permitiendo así, mucho más que una simple infraestructura para utilizada para la ciencia electrónica, estableciéndose como un ejemplo efectivo de integración y colaboración europea (GÉANT, 2019).

En el año 2002, América Latina con el objetivo principal de analizar de interconexión inmediata entre la red de investigación paneuropea, GÉANT, y sus equivalentes nacionales en América

Latina surge la alianza entre las Redes Nacionales de Educación e Investigación (RNEI) de Portugal(FCCN) y España (RedIRIS) y DANTE(GÉANT) en torno a la realización de un estudio de factibilidad que se denominó **CAESAR** (Connecting All European and South (Latin) American Researchers – Conectando Todos los Investigadores Europeos y Sudamericanos).

El cual fue economizado por la Comisión Europea a través de la Dirección General para las Tecnologías de la Sociedad de la Información (EC DG IST), CAESAR se desarrolló entre marzo y octubre de 2002. Bastaron sólo ocho meses para que la visión fuese clara: era necesario crear una red troncal regional en América Latina y conectarla a GÉANT.

De esta manera en junio de 2003 se crea la Colaboración Latino Americana de Redes Avanzadas(RedClara), la cual desde el año 2004 brinda la interconexión regional y conexión al mundo a través de sus enlaces a GÉANT (red avanzada paneuropea) y a Internet2 (Estados Unidos) y, mediante ellos, a las redes avanzadas de África (UbuntuNet Alliance, WACREN, ASREN), Asia (APAN, TEIN, CAREN) y Oceanía (AARNET) (RedClara, 2019).

En Ecuador en marzo de 2002 se consideraba la creación de un Consorcio Nacional para el Desarrollo de Internet Avanzado (CEDIA), por medio del cual se obtendría conexión hacia los enlaces de internet en la red de ciencia y tecnología.

De esta manera, a través de CEDIA el 09 de junio de 2003, el país empieza a formar parte de la RedCLARA (CEDIA, 2002).

## **3.2 Red Clara**

La red CLARA “Colaboración Latino Americana de Redes Avanzadas” es el espacio latinoamericano de colaboración y desarrollo para la educación, la ciencia y la innovación, esto es la interconexión de NRENs nacionales.

Una red nacional de investigación y educación (NREN) son proveedores de internet dedicados a apoyar a las necesidades de investigación y educación dentro de un país. Su objetivo principal es brindar a centros de investigación e institutos de educación superior conectividad de alta calidad mediante la interconexión entre sí y con el resto del internet (EaPConnect, 2020).

“Desde el año 2004 RedCLARA brinda interconexión regional y conexión al mundo a través de sus enlaces a GÉANT (red avanzada paneuropea) y a Internet2 (Estados Unidos) y, mediante ellos, a las redes avanzadas de África (UbuntuNet Alliance, WACREN, ASREN), Asia (APAN, TEIN, CAREN) y Oceanía (AARNET), entre otras. Así, se ha conformado la comunidad académica más grande de Latinoamérica, la que se conecta activamente para trabajar en múltiples proyectos con pares internacionales” (RedClara, 2019).

Actualmente está integrada por 13 estados de la región y su Asamblea, donde cada país cuenta con un representante, se reúnen cada seis meses, para definir las líneas de acción y las políticas a ser implementadas.

### 3.2.1 vRNIE: Red Nacional de Investigación y Educación Virtual

Las redes nacionales de Investigación y Educación son un componente esencial para suplir las necesidades de conectividad nacional e internacional de las comunidades de investigación y educación, y para la colaboración estratégica en e-Learning, e-Ciencia e e-Investigación, ya que ofrecen coordinación, selección y despliegue o desarrollo de servicios a nivel nacional y regional (RedClara, 2019).

## 3.3 CEDIA

En el Ecuador, la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo del Internet Avanzado, CEDIA, estaba constituida por las principales universidades, centros de investigación y algunas instituciones del país. A través de CEDIA, sus miembros tienen conexión a la RedCLARA (CEDIA, 2003). En un inicio, el objetivo de CEDIA fue acceder con mejores precios a la conexión

con el Internet y de paso a conectarse con la RedCLARA. A este objetivo, se han ido sumando otros a lo largo del tiempo.

Actualmente, CEDIA implementa, entre sus miembros, su propia red (lógica) IP/MPLS, misma que está conectada con Estados Unidos y por la que cursa el tráfico de Red Avanzada e Internet Comercial. Esta red lógica, es posible gracias al contrato IRU (Indefeasible rights of use), por el cual CEDIA arrienda a TelcoNet fibra oscura (un número determinado de hilos dentro del cable de fibra óptica). Así, CEDIA tiene el control del medio físico (hilos de la fibra que se extiende a lo largo del backbone de TelcoNet), aplicando la tecnología de transmisión IP/MPLS, que según los estándares actuales y el análisis de CEDIA, es la más adecuada para sus necesidades. Este fue un arrendamiento a 15 años en modalidad OPEX que realiza CEDIA a la fibra oscura de TelcoNet (Carvallo, 2019).

De esta manera, actualmente se tienen nuevas capacidades y servicios de conectividad para sus miembros. Con esta implementación CEDIA es parte de Bella-T; que complementa la infraestructura terrestre de RedCLARA con capacidad de múltiples canales que permiten la capilaridad integral para el uso de las comunidades de investigación y educación de América Latina.

Actualmente, el nombre de CEDIA es el acrónimo de Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia, que tiene como objetivos fomentar, promover y coordinar el desarrollo de la investigación científica y la academia; y ofrecer servicios relacionados a las tecnologías de la información enfocadas al desarrollo científico, tecnológico, innovador y educativo en el Ecuador, por medio del Proyecto de Redes Avanzadas. Entre sus servicios están:

- Interconexión a las Redes Nacionales de Investigación y Educación (RNIE, o NREN en inglés) de Latinoamérica y el mundo.
- Brinda los servicios de Eduroam, eVentia, entre otros, que son de uso exclusivo para las RNIE y sus instituciones.

- Accede a productos y servicios con condiciones preferenciales a través de los acuerdos que realiza CEDIA con proveedores de servicios y soluciones regionales.

### 3.4 Configuraciones Existentes por parte de CEDIA

Para sus miembros, CEDIA configura y administra el acceso y tráfico de datos tanto hacia la red avanzada como al internet comercial, a través de una configuración principal y una de respaldo, garantizando la disponibilidad del servicio.

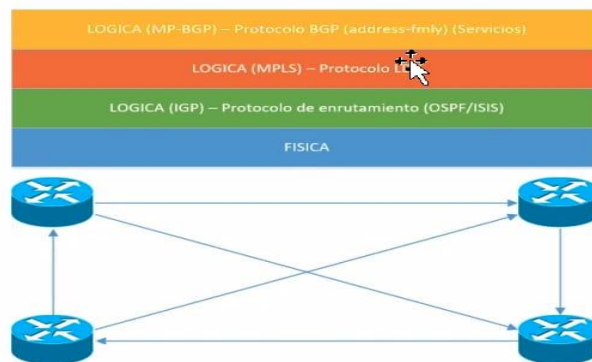


Figura 4 Estructura Lógica de conexión  
Fuente: (Avendaño, 2020)

Cómo podemos observar la configuración de conexión está basada en capas, que cumplen con los protocolos: MP-BGP (LDP), IGP(OSPF), y MPLS.

#### 3.4.1 Configuración estándar de equipos para miembros de CEDIA

CEDIA estandarizó la configuración de equipos para poder brindar servicio de conexión a Internet comercial y redes avanzadas, y poder controlar en forma centralizada el funcionamiento y dar seguimiento y mantenimiento. De esta manera CEDIA da un servicio eficiente a sus miembros.

Los equipos estándar se listan a continuación.

##### 3.4.1.1 Equipo Nokia Alcatel-Lucent 7705 sar-x (Tempest, 2020):

- Capacidades superiores de IP / MPLS
- solución de transporte de red de acceso de radio móvil (RAN)
- Rentable y escalable

- Concentra el tráfico en los sitios de celdas y concentradores
- Su arquitectura flexible y preparada para el futuro le permitirá abordar los requisitos de agregación en evolución



*Figura 5 Equipo Nokia Alcatel-Lucent 7705 sar-x  
Fuente: (FCCID.io, 2017)*

### 3.4.1.2 Equipo Router Cisco 7604 (CISCO, 2014)

- Posee 4 ranuras para la implementación del BGP con servicios de conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS).
- sirve para redes WAN y MAN
- Cumple con requisitos de redundancia, alta disponibilidad y densidad de rack



*Figura 6 Router Cisco 7604  
Fuente: (CISCO, 2005)*

Los dispositivos Cisco 7604 y Alcatel-Lucent 7705 sar-x utilizan protocolos de alta redundancia **VRRP** (Virtual Router Redundancy Protocol) que elimina el único punto de falla inherente al entorno de ruta predeterminada estática (CISCO, 2020).

### 3.4.2 Configuración física en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Durante la entrevista a Geovanny Avendaño de CEDIA, se nos explicó la configuración básica de la PUCE y la USFQ, que se muestra en la Figura 7.

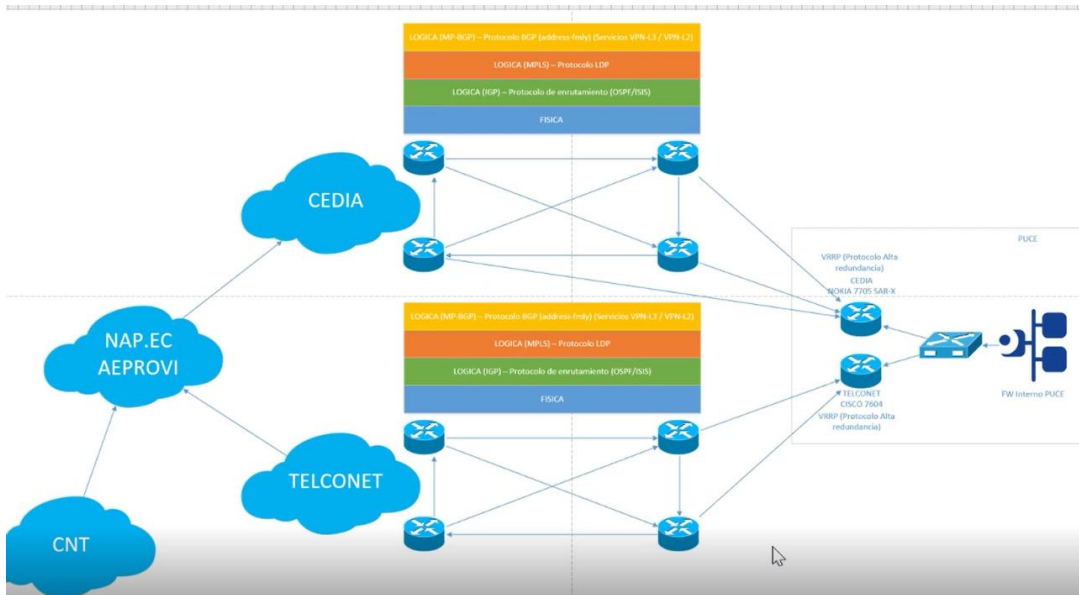


Figura 7 Estructura de conexión actual CEDIA-PUCE  
Fuente: (Avendaño, 2020)

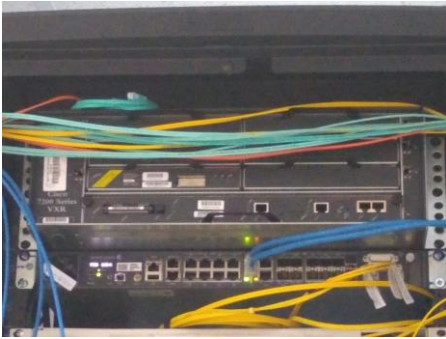
En la PUCE, además de la configuración estándar, se encontró un equipo ruteador de respaldo marca Cisco 7200 VXR (CISCO, 2008), cuyas características son:

- Con velocidades de procesamiento de hasta 2 millones de paquetes por segundo.
- Rendimiento de la característica de calidad de servicio (QoS) galardonada con WAN Edge
- Agregación de banda ancha: hasta 16,000 sesiones de protocolo punto a punto (PPP) por chasis
- Borde de proveedor de cambio de etiqueta multiprotocolo (MPLS PE).
- Integración de voz / video / datos: chasis VXR y adaptadores de puerto de voz habilitados para multiplexor de división de tiempo (TDM)
- Soporte de puerta de enlace de IP a IP: interconexiones IP directas.
- Red privada virtual de seguridad IP (VPN IPSec): escalable a 5.000 túneles por chasis

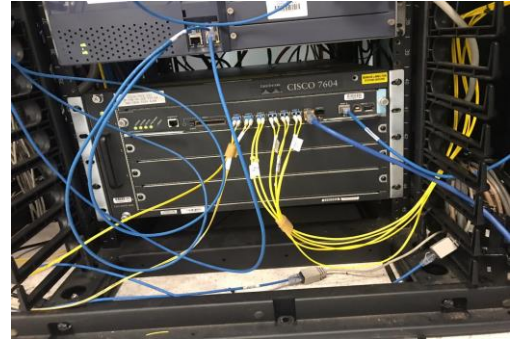


Figura 8 Router Cisco 7200 VXR  
Fuente: (CISCO, 2008)

Las ilustraciones 9 y 10 fueron tomadas durante la visita al Centro de Cómputo de la PUCE:



*Figura 9 Equipos Cisco VXR 7200 y Alcatel-Lucent 7705 sar-x*



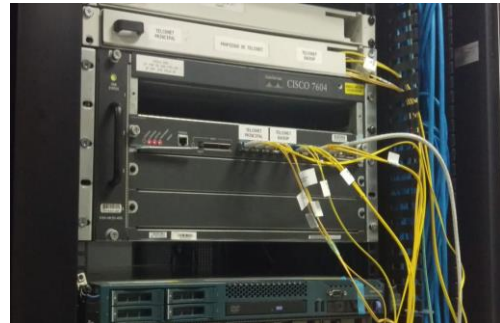
*Figura 10 Equipo Router Cisco 7604*

### 3.4.3 Configuración física en la Escuela Politécnica Nacional

En la visita al Centro de Cómputo de la EPN, realizado el miércoles 4 de marzo del 2020, se comprobó que la conexión cumple con el estándar de CEDIA desde el protocolo de borde (BGP) hacia afuera. Internamente la EPN tiene un centro de datos principal y otro de respaldo dentro del mismo campus. Esta organización no implica cambios en la configuración estándar de CEDIA. Las imágenes 11 y 12 corresponden a los equipos en la EPN.



*Figura 11 Equipo Alcatel-Lucent 7705 sar-8*



*Figura 12 Equipo Router Cisco 7604*

Para el caso de la PUCE y la EPN, la conexión principal va al nodo Gosseal de TelcoNet, mientras que la copia de seguridad se conecta al nodo Muros de Telconet. Gosseal y Muros corresponden al nombre de las calles de la ciudad de Quito donde se encuentra los nodos de la red MPLS de propiedad de Telconet (Aguirre Sánchez, 2013) .

#### 3.4.4 Riesgos de redes

CEDIA no posee un backbone, es decir no es propietario del enlace físico de datos que une a las universidades y centros de investigación ecuatorianos, sino que, a través de contratos tipo IRU, arrienda fibra oscura a TelcoNet. De esta manera, la redundancia y alta disponibilidad, además de la seguridad, dependen únicamente de un proveedor. La redundancia y la alta disponibilidad están comprendidos en la capacidad que tiene un sistema de comunicaciones para detectar un fallo de la manera más rápida posible, además de recuperarse de dicho problema de la forma más eficaz y eficiente.

La redundancia se refiere a los nodos completos, caminos y otros componentes de la red que están repetidos y que en caso de alguna caída del sistema como función principal sean utilizados. En cuanto a la alta disponibilidad, se basa en la capacidad que tiene un sistema para ofrecer un servicio activo por un tiempo determinado o la recuperación del sistema si se ve afectado por algún fallo en la red.

Como alternativa y para garantizar mayor redundancia, alta disponibilidad y seguridad en redes se plantea tener un backbone físico de respaldo. La propuesta toma en cuenta además de la infraestructura actual de CEDIA, el enlace físico al backbone de TransElectric, de ser el caso a través de CNT como proveedor de servicios.

## Capítulo 4: Análisis de factibilidad y diseño de un IXP

El análisis de factibilidad y diseño de un IXP tiene tres secciones: (i) el análisis teórico de la conveniencia del contrato IRU entre CEDIA y Telconet; (ii) la consideración de una infraestructura dorsal de redes como medio de respaldo para la interconexión entre las universidades ecuatorianas y su salida a la Red Clara; (iii) el diseño de un IXP para manejar la interconexión entre el backbone principal y el de respaldo.

El contrato IRU que mantiene CEDIA con TelcoNet parece una opción adecuada, según plantearon los funcionarios de la Corporación. Como parte del estudio de factibilidad este trabajo analiza teóricamente la conveniencia de este tipo de contrato.

Debido a la falta de un backbone propio de red avanzada en el Ecuador, por seguridad, confiabilidad y disponibilidad, se plantea la posibilidad de habilitar un backbone de respaldo el cual puede ser propietario o no, dependiendo de los costos. Se considera factible y conveniente utilizar el backbone de TransElectric como respaldo físico de la red avanzada de ciencia y tecnología del Ecuador. Se tiene conocimiento que TransElectric está en conversaciones con CNT para que este último brinde el servicio de última milla (last mile en inglés), es decir la conexión desde un punto del backbone hasta el usuario final. El presente estudio de factibilidad analiza la infraestructura de TransElectric y la posibilidad de utilizarla como backbone de las redes avanzadas en el Ecuador.

Considerando la fibra que se expande por la red de TransElectric y la de Telconet, se presenta un diseño del IXP necesario para gestionar, desde CEDIA, las conexiones entre ambos backbones. El IXP, que puede ser abierto (OXP), estaría ubicado sea en el data center de TelcoNet donde actualmente están alojados equipos de CEDIA, o en el edificio de CEDIA en Cuenca, o en una subestación de TransElectric. A este IXP convergerían las redes de TransElectric, CNT, TelcoNet, y de ser el caso, las universidades cercanas.

## 4.1 Contrato “Indefeasible Right of Use” (IRU)

También conocido como “Derecho de uso irrevocable”, es un acuerdo contractual, el cual no se lo puede deshacer, este contrato sirve para el arrendamiento de Telecomunicaciones o fibra oscura la cual se refiere a los circuitos de fibra óptica que están instalados, pero no son utilizados. Los contratos IRU normalmente se los hace a largo plazo, entre 20 a 30 años, además este contrato otorga al comprador el derecho de arrendar cierta capacidad a otra persona (Orhan Ergun, 2020). De acuerdo con CEDIA, este contrato es más conveniente para el arrendamiento de tecnología, pues se trata de un contrato basado en gastos Opex, en lugar de Capex. A continuación, se analiza ambos tipos de gasto.

### 4.1.1 CAPEX

Es la abreviación de Capital Expenditure, el cual hace referencia a los gastos de capital, y tienen que ver con erogaciones que efectúan las empresas para adquirir activos físicos o actualizar los que poseen actualmente, se identifica con inversión de capital y está dado por la suma de los costos de compra de bienes inmuebles, maquinaria y equipo. Las inversiones CAPEX, se los paga el momento de la compra, sin embargo, no se incluyen de inmediato como costo o gasto, sino que se amortizan a lo largo del tiempo como depreciación. Implica inversiones importantes en bienes, figuran en los activos de la empresa y se deprecian a lo largo de la vida del activo. Hay dos formas de CAPEX: (i) Gastos de mantenimiento, utilizados por una empresa u organización para ampliar la vida útil de los activos ya existentes; (ii) Gastos de expansión, aquellos en los que una organización incurre para hacer crecer a la misma.

En el caso de las tecnologías móviles, el coste del núcleo de la red (cableado, nodos, servidores, puertas de enlaces, etc.) es proporcional al número de puntos de accesos y pueden ser incluidos en el factor CAPEX. Este factor está constituido por costos asociados a la inversión en equipamiento y los costes para el diseño e implementación de la infraestructura de la red; la

adquisición del sitio, obras civiles, de potencia, sistema de antena y transmisión. El equipo incluye las estaciones base (puntos de acceso, AP), de los controladores de radio (BSC y RNC), y todo el equipo de red central (Pérez, 2016).

#### 4.1.2 OPEX

Es la abreviación de Operational Expenditures que comprende movimientos de efectivo recurrentes de la organización, aparecen como gastos en los estados de pérdidas y ganancias. Está compuesto por la suma de todos los costos que no están relacionados con la adquisición de bienes. Pueden abarcar salarios de empleados, servicios subcontratados, gastos de instalaciones como alquiler, entre otros (ENERGYST, 2020) .

Para el caso de la tecnología móvil, el costo OPEX (Pérez, 2016) se compone de tres diferentes tipos de coste: (i) Impulsada por el cliente, los costos para llegar a los clientes, las subvenciones de los terminales; (ii) Ingresos impulsados, compuestos por los costos para obtener un abonado a utilizar los servicios de la red y los costos relacionados con el tráfico generado, desarrollo de servicios, personal de marketing, promoción de ventas e interconexión; (iii) Impulsados por la red, comprenden los costos asociados con el funcionamiento de la red, transmisión, alquiler del sitio, operación y mantenimiento. Los factores dominantes están relacionados con la adquisición de clientes, marketing, atención al cliente y la interconexión.

#### 4.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

En la tabla 4 se puede visualizar las ventajas y desventajas que posee trabajar con movimientos tipo CAPEX.

Tabla 4 Ventajas y Desventajas CAPEX

CAPEX	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es una inversión para la organización.	El valor del bien adquirido se deprecia.
Puede generar rentabilidad a largo plazo.	Implica altas erogaciones de fondos a corto plazo
Genera descuentos fiscales de la depreciación de los activos.	Para que sea rentable debe permitir una recuperación de la inversión en un plazo corto.
Provee un margen de previsibilidad en las erogaciones futuras.	

En la tabla 5 se puede visualizar las ventajas y desventajas que posee trabajar con movimientos tipo OPEX.

Tabla 5 Ventajas y Desventajas OPEX

OPEX	
VENTAJAS (ENERGYST, 2020)	DESVENTAJAS (Descubrir Online, 2019)
Conveniente para empresas en rápido crecimiento y cambios en sus necesidades tecnológicas, pues el compromiso con el bien se reduce al tiempo en el que se desea utilizarlo	Puede incrementar los gastos operativos de la empresa
No implica más obligaciones financieras.	No constituye inversiones
En el área de las TICs, la velocidad de las innovaciones hace que los programas y equipos se vuelvan obsoletos en poco tiempo. El gasto en OPEX permite tener acceso a actualizaciones constantes y adaptación a nuevos hallazgos.	Mayor variabilidad en los gastos.
Al utilizar gastos OPEX, se requiere menos capital inmediato para inversión y se libera fondos para otros fines, pudiéndose aprovechar nuevas oportunidades de inversión que se presenten. Se expone en menor grado a la descapitalización de las empresas y se disminuyen gastos de capacitación del personal	

Comparando los conceptos de CAPEX y OPEX, se concluye que el contrato IRU que concierne gastos tipo OPEX que utiliza CEDIA para alquilar a largo plazo la fibra oscura de TelcoNet es conveniente, pues permite a CEDIA tener el control de su red lógica sobre el backbone de Telconet.

## 4.2 Interconexión Nacional

### 4.2.1 TRANSELECTRIC

Nace como una Sociedad Anónima el 13 de enero de 1990, luego de que se liquidara el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). En 2010 se crea la Corporación eléctrica del Ecuador CELEC EP.

Es responsable de la transmisión de energía en todo el país, utilizando una red eléctrica en forma de anillo designada Sistema Nacional de Transmisión SNT. Ejecuta y construye nuevos proyectos en todo el país para ampliar y fortalecer la infraestructura actual (CELEC, 2019).

#### 4.2.1.1 Infraestructura

En la figura 13 se puede apreciar Infraestructura del Sistema Nacional de Transmisión (SNT), en la cual se especifica los kilómetros de líneas de transmisión con el respectivo voltaje que se encuentran activas en el País. Además, especifica cuantas subestaciones están distribuidas en el Ecuador, el tipo de cable de fibra óptica utilizado, así como la capacidad total instalada. El funcionamiento del SNT es monitoreado a través de sistemas SCADA.

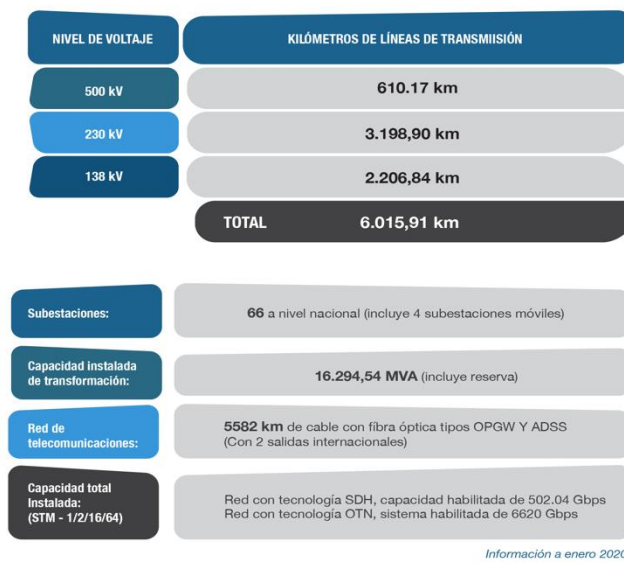


Figura 13. Estructura de las líneas de Transmisión  
Fuente: (CELEC, 2020)

#### 4.2.1.2 Sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

Es un sistema de monitoreo que permite a las empresas gestionar remotamente una red mediante las siguientes funciones:

- Controlar los procesos industriales localmente o a distancia con la unidad de terminal remota (RTU<sup>1</sup>)
- Monitorizar, recopilar y procesar datos en tiempo real
- Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores, señales de tráfico, etc., a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI<sup>2</sup>)
- Grabar eventos en un archivo de registro (Pérez Galdos, 2019).
- Elementos principales en el sistema SCADA

En la figura 14 se puede visualizar en que capa de automatización se encontraría configurado el sistema SCADA para el manejo y gestión industrial. Flujo de información desde la operación hasta la toma de decisiones:

---

<sup>1</sup> RTU (Unidad de Terminal Remota). Cada RTU se conecta a un equipo físico, y se encarga de recopilar toda la información de su estado, llevando la información de los diversos sitios de planta, a una ubicación central, mediante cable o fibra óptica.

<sup>2</sup> El HMI es fundamentalmente un sistema de computadora que ejecuta programas gráficos, mostrando información gráfica fácil de comprender, archivando los datos recibidos, transmitiendo alarmas, y permitiendo el control del operador.

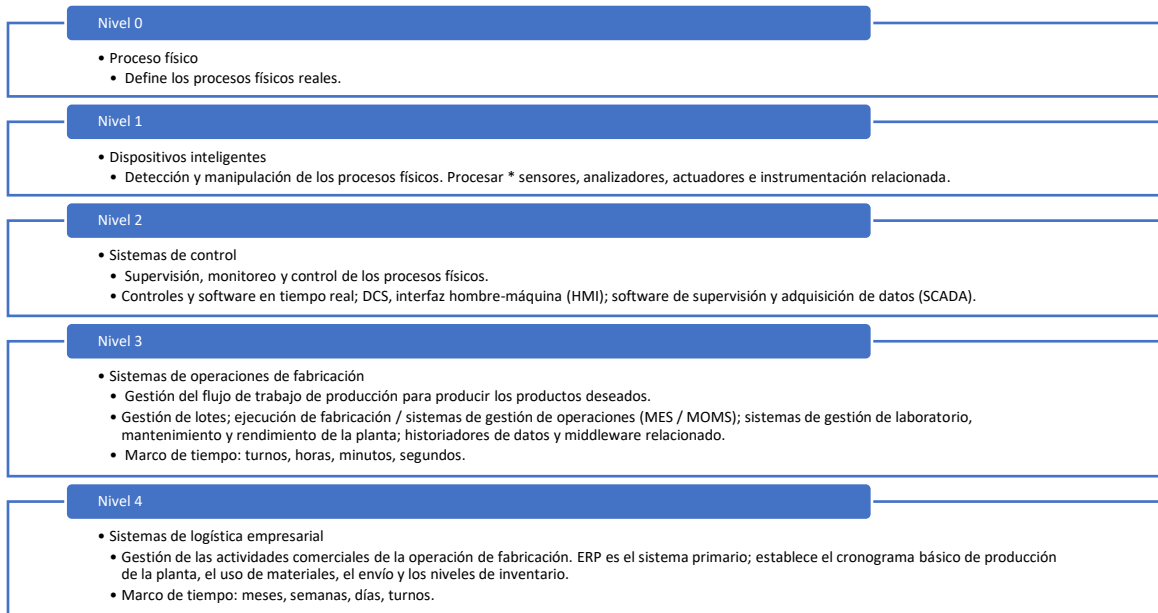


Figura 14 Arquitectura de referencia empresarial de Purdue SCADA  
Fuente: (Williams, 1994)

#### 4.2.1.2.1 Cable de Guarda

Un cable de guarda con fibra óptica OPGW (Open Ground Wire) es un tipo de cable que se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, combina las funciones de conexión a tierra y de comunicaciones, contiene fibras ópticas rodeadas por capas de hilos aluminio y acero.

El cable OPGW tiene dos secciones, la exterior con hilos de acero y aluminio para protección, y al interior fibra óptica que permite la transmisión de datos a altas velocidades y a largas distancias (BICC Cables Ltd, 1997).

La fibra óptica contenida en el OPGW es el medio físico para la transmisión de datos; de esta manera la fibra enlaza las subestaciones de TransElectric que cuentan con equipos multiplexores del cable OPGW. Estos equipos tienen interfaces que soportan varios estándares de redes, entre ellos el Ethernet. TransElectric utiliza equipos con protocolo MPLS (marca Juniper).

### 4.2.1.3 Red de TransElectric

La Figura 15 muestra el mapa de la red de transmisión del SNT de TransElectric. Las líneas de transmisión eléctrica son conductores eléctricos aéreos soportados por torres eléctricas. Para protección de los conductores se utiliza cable OPGW (1138-2009 estándar IEEE) (Optical Ground Wire) o Cable Óptico a Tierra que tiene dos funciones: la puesta a tierra y la comunicación de datos. La puesta a tierra protege la línea de transmisión de la descarga eléctrica como rayos, del ruido eléctrico externo y de sonidos perturbadores (BICC Cables Ltd, 1997).

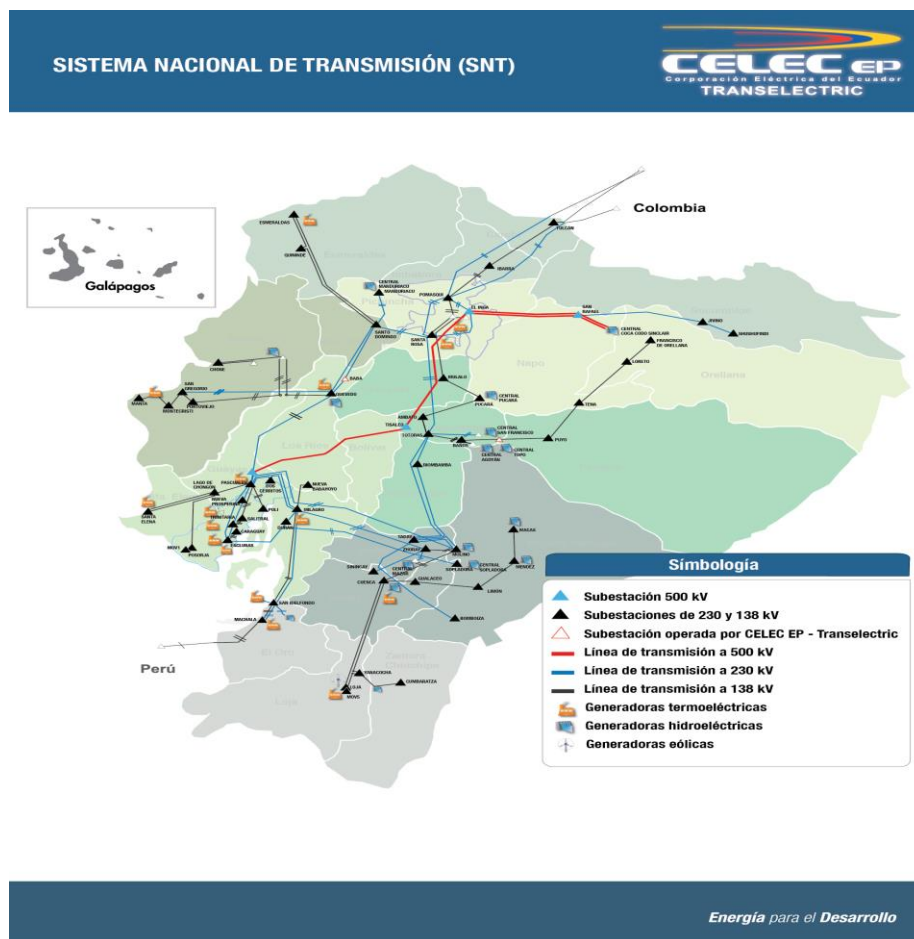


Figura 15 Red de transmisión eléctrica

Fuente: (CELEC, 2020)

## **4.3 Propuesta de infraestructura**

La solución que se propone a CEDIA es contar con un backbone físico de operación y otro backbone físico de respaldo. El primero correspondería a la fibra oscura que arrienda CEDIA a TelcoNet, y el otro al enlace físico de TransElectric. De esta manera, para resolver el tráfico entre ambos backbones, o redes que se enlazarían físicamente a CEDIA, es necesario un IXP.

### **4.3.1 Diseño de la arquitectura del backbone de CEDIA**

La figura 16 presenta el diagrama de la Arquitectura propuesta; luego se da una explicación de esta arquitectura, para continuar con el estudio de Factibilidad Técnica.

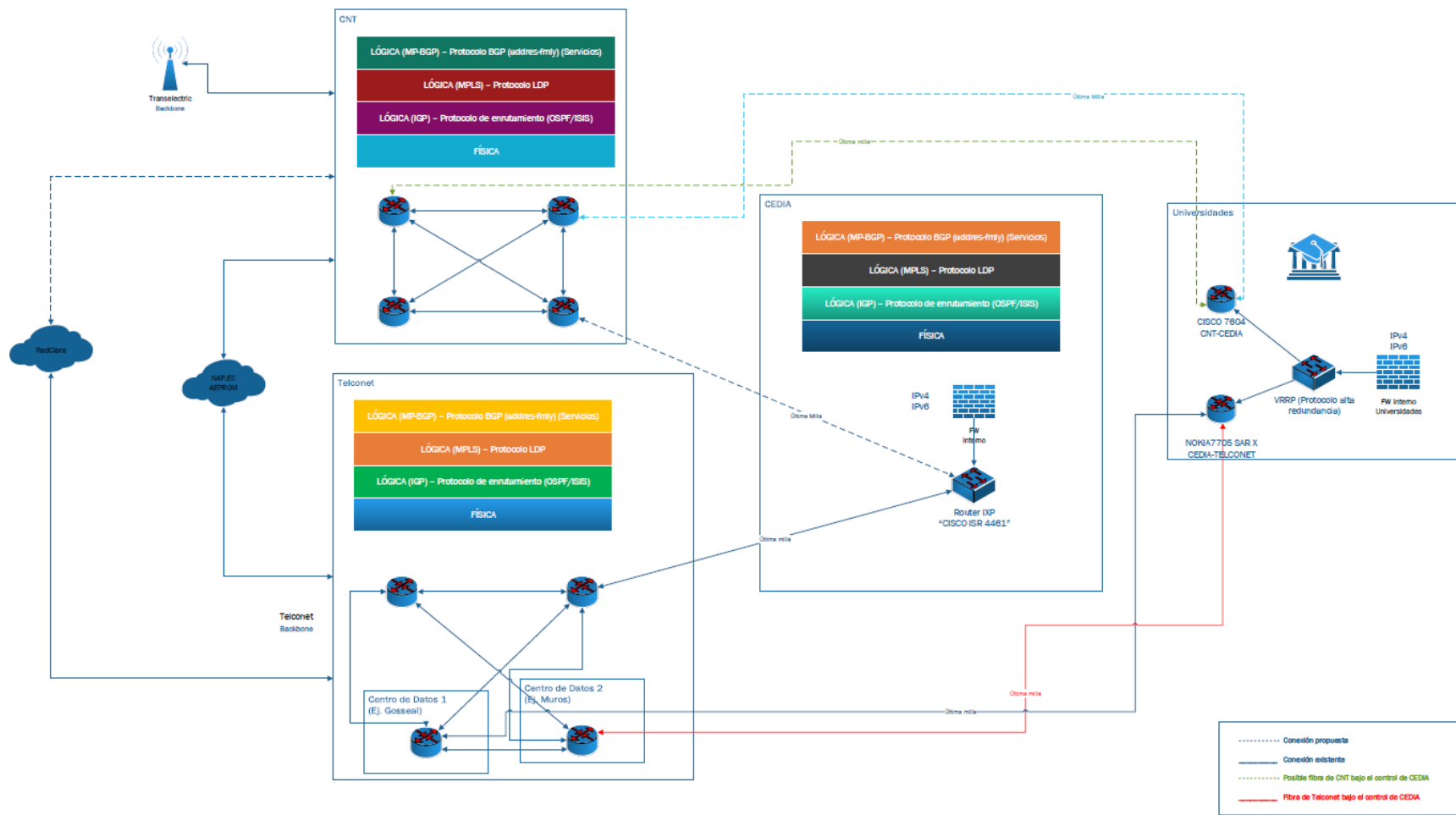


Figura 16 Propuesta de Infraestructura

El backbone físico de operación corresponde casi en su totalidad a la realidad actual, y está representado por línea continua celeste. El backbone de respaldo propuesto es el de TransElectric, que tendría apoyo de última milla de CNT hacia las universidades (representado con líneas punteadas).

Como se puede ver en la figura 16, físicamente no hay una fibra de CEDIA, es decir que vaya desde las instalaciones de CEDIA a las universidades, son que corresponde a la fibra oscura que arrienda a TelcoNet bajo contrato IRU. La fibra oscura arrendada está con el color rojo (existente). Algo similar puede o no suceder entre CEDIA y CNT / TransElectric, es decir sea el arrendamiento del servicio de respaldo de tránsito de datos entre las universidades ecuatorianas, a RedClara y al Internet comercial, como el arrendamiento de fibra oscura para controlar estos mismos servicios. Estas posibilidades con CNT/TransElectric están con color verde o celeste, con línea punteada.

El IXP funcionaría físicamente en CEDIA (sea en las oficinas de Cuenca u otra ciudad) o en algún rack de CEDIA alojado donde algún proveedor (TelcoNet, CNT, TransElectric). El requisito para determinar esta localización es que debe ser un sitio donde confluyan físicamente las redes de los tres: TelcoNet, CNT y TransElectric.

Para la implementación técnica del IXP, se tomó en cuenta el ruteador-conmutador Cisco ISR 4461 por las siguientes características (CISCO, 2019):

- 10 puertos WAN integrados GE SFP +, PoE GE / SFP, GE / SFP
- Rendimiento de 10 Gbps + y cifrado de 7 Gbps
- Protección contra ciberataques.
- Soporte de protocolos: IPv4, IPv6, OSPF, EIGRP, BGP, IS-IS, DHCP, IPv4-to-IPv6 Multicast, MPLS, entre otros.
- Admite fuentes de alimentación de CC y CA.
- Arquitectura de CPU multinúcleo.
- Licencia bajo demanda: FL-4460-PERF-K9: incrementa el rendimiento del rendimiento base 1.5 Gbps a 3 Gbps
- Tiene un valor de \$15,131.89



Figura 17 Cisco 4461 Integrated Services Router (ISR)

Fuente: (CISCO, 2019)

### 4.3.2 Factibilidad técnica

Una de las razones porque CEDIA escogió a Telconet es por su cobertura (CEDIA, 2002). Es la misma razón por la que se propone al backbone de TransElectric como respaldo de la red de universidades (académica y científica). La pregunta es ¿si con la red de TransElectric es factible interconectar a todos los miembros actuales de CEDIA?

En la Tabla 6 se presenta el resultado del estudio realizado por TransElectric acerca de la factibilidad de interconectar cada uno de las universidades e instituciones miembros de CEDIA al backbone de TransElectric. Este estudio fue realizado en respuesta al pedido realizado por DPhil Rafael Melgarejo para el proyecto de investigación “Evolución del Internet en el Ecuador hacia una red autónoma de ciencia y tecnología”, del cual esta tesis forma parte.

Tabla 6 Factibilidad Técnica de TransElectric  
Fuente (CELEC, 2019)

FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL BACKBONE CON TRANSELECTRIC A JUNIO 2019						
#	UNIVERSIDAD	CIUDAD	NODO CELEC TransElectric	DISTANCIA APROX.(m)	INFRA ESTRUCTURA	FACTIBILIDAD (1 – viable 2-complejo)
1	Universidad de las Artes	Guayaquil	OF. POLICENTRO	4470	POSTES Y SOTERRADO	1
2	Universidad Estatal Amazónica	Puyo	S/E PUYO	1610	POSTES	1

3	Universidad Nacional de Educación	Azogues	OF. HIDROAZOGUEZ	1000	POSTES	1
4	Universidad Regional Amazónica	Archidona	S/E TENA	10800	POSTES	1
5	Universidad Politécnica Estatal del Carchi	Carchi	S/E TULCAN	4870	POSTES	1
6	Escuela Superior Politécnica de Manabí	Calceta	S/E CHONE	18800	POSTES	1
7	Instituto Oceanográfico de la Armada	Guayaquil	S/E TRINITARIA	4290	POSTES	1
8	Universidad Técnica de Machala	Machala	S/E MACHALA	1770	POSTES	1
9	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Quevedo	PDP QUEVEDO	3240	POSTES	1
10	Universidad Yachay Tech	Urcuquí	S/E IBARRA	19200	POSTES	1
11	Universidad Nacional de Loja	Loja	S/E LOJA	7600	POSTES	2
12	Universidad Estatal de Bolívar	Guanujo	PDP CNEL BOLIVAR	2500	POSTES	1
13	Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí	Manta	PDP MANTA (ESCUELA DE PESCA)	1800	POSTES	2
14	Universidad Nacional de Chimborazo	Riobamba	S/E RIOBAMBA	1300	POSTES	1
15	Universidad Estatal de Milagro	San Francisco de Milagro	S/E CNEL MILAGRO	1300	POSTES	1
16	Escuela Politécnica Nacional	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	400	POSTES	2
17	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Sangolquí	S/E VICENTINA	10600	TORRES 230kV y POSTES (E.28 ROS-VIC)	2
18	Universidad Técnica del Norte	Ibarra	S/E IBARRA	890	TORRES 69kV y POSTES	1
19	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	Riobamba	S/E RIOBAMBA	2900	POSTES	1

20	Universidad Central del Ecuador	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	3000	POSTES	2
21	Universidad de Cuenca	Cuenca	S/E CUENCA	3400	POSTES	1
22	Escuela Superior Politécnica del Litoral	Guayaquil	S/E SALITRAL	1570	TORRES LT PASCUALES - SALITRAL	1
23	Universidad Técnica de Ambato	Ambato	S/E AMBATO	6340	POSTES	1
24	Universidad San Gregorio de Portoviejo	Portoviejo	S/E PORTOVIEJO	3200	POSTES	1
25	Universidad de Israel	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	1100	POSTES	1
26	Universidad del Pacífico	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	1800	POSTES	1
27	Universidad Internacional del Ecuador	Quito	S/E VICENTINA	4950	TORRES LT STA. ROSA - VICENTINA, E37	1
28	Universidad Autónoma de los Andes	Ambato	S/E TOTORAS	750	POSTES	1
29	Universidad Tecnológica Indoamérica	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	3660	POSTES	1
30	Universidad Técnica Particular de Loja	Loja	PDP SAN CAYETANO	800	POSTES	1
31	Universidad del Azuay	Cuenca	PDP RAYOLOMA	5534	EERCSSA: 2550 m en Línea Baja Tensión (POSTES) 2530 m en Línea Subtransmisión (torres)	1
32	Universidad de las Américas		EDIF. TRANSELECTRIC	4479	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
33	Universidad Tecnológica Equinoccial	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	2150	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
34	Universidad Católica Santiago de Guayaquil	Guayaquil	OF. POLICENTRO	6689	Línea Baja Tensión (POSTES) CNEL Guayas 1000 canalizado	2
35	Universidad San Francisco de Quito	Quito	S/E VICENTINA	7520	POSTES Y L/T POM-VIC (E.15)	1

36	Universidad Católica de Cuenca	Cuenca	PDP RAYOLOMA	2400	Línea Baja Tensión (POSTES) EERCSSA, hasta caja de empalme en LT Subtransmisión	1
37	Universidad Politécnica Salesiana	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	915	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
38	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	660	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
39	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí	Portoviejo	S/E SAN GREGORIO	3928	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
40	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra	Ibarra	S/E IBARRA	950	Línea Baja Tensión (POSTES) EEQ	1
41	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato	Ambato	S/E TOTORAS	2700	POSTES	1
42	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas	Esmeraldas	S/E ESMERALDAS	8300	POSTES	2
43	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo	Santo Domingo	PDP HTV	3700	POSTES	1
44	OPUSQUIL S.A.	Guayaquil	S/E CARAGUAY	3000	POSTES	1
45	Instituto Tecnológico Superior Sudamericano	Loja	S/E LOJA	4000	POSTES	1
46	Centro Educativo Integral CENEICA S.A.	Guayaquil	OF. POLICENTRO	510	POSTES	1
47	Unidad Educativa San Felipe Neri	Riobamba	S/E RIOBAMBA	620	POSTES Y SOTERRADO	1

48	Unidad Educativa Particular Javier	Guayaquil	S/E SALITRAL	4120	POSTES	1
49	Unidad Educativa Particular Borja	Cuenca	PDD RAYOLOMA	5970	POSTES	1
50	Unidad Educativa Particular Bilingüe Principito & Marcel Laniado de Wind	Machala	PDP PEÑALOZA	2400	POSTES	1
51	Fundación Liceo Internacional	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	760	POSTES	1
52	Asociación Cultural Academia Cotopaxi	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	2350	POSTES	1
53	Tecnológico Espiritu Santo	Guayaquil	OF. POLICENTRO	2500	POSTES	1
54	Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva	Quito	S/E SANTA ROSA	5380	POSTES	1
55	Unidad Educativa Particular Cristo Rey	Portoviejo	S/E PORTOVIEJO	3200	POSTES	1
56	Fundación Colegio Americano de Quito	Quito	COT	4100	POSTES	1
57	Instituto Tecnológico Superior Honorable Consejo Provincial de Pichincha	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	2200	POSTES	1
58	Instituto Tecnológico Cordillera	Quito	EDIF. TRANSELECTRIC	3700	POSTES	1
59	Instituto Tecnológico Superior José Chiriboga Grijalva	Ibarra	S/E IBARRA	2920	POSTES	1
60	Instituto Tecnológico Bolivariano	Guayaquil	OF. POLICENTRO	4100	POSTES Y SOTERRADO	2

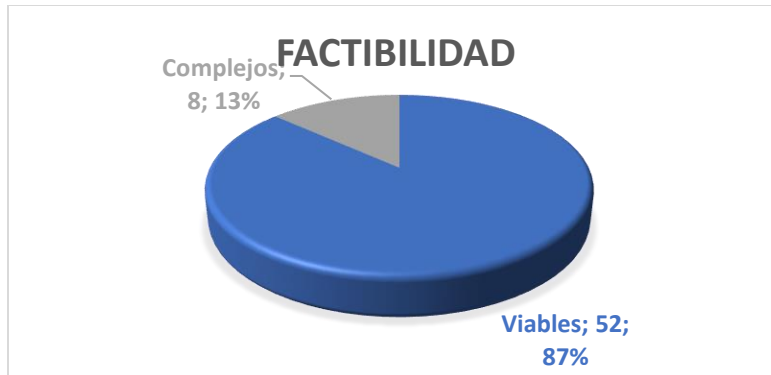


Figura 18 Porcentaje de viabilidad en el proyecto

En conclusión, el estudio realizado por TransElectric muestra que si es factible la interconexión de todos los miembros; siendo la mayoría más fácil de conectarse que unos pocos complejos. El trabajo de interconexión de cada nodo (miembro de CEDIA) a la red de TransElectric puede realizarlo la misma universidad/institución, o CEDIA, o CNT que se encargaría de la última milla.

### 4.3.3 Estimación de costos

Considerando que los costos de interconexión a la red de TransElectric correrían de cuenta sea de CNT como proveedor de última milla, sea como CEDIA, o como universidad; y, que estos costos varían dependiendo de la facilidad de tender la fibra óptica entra la universidad y el punto de conexión al backbone; éstos no se toman en cuenta. Los costos que sí se describen son: (i) de los equipos de CEDIA y de cada universidad, muchos de ellos ya existentes; y, (ii) los costos de peering entre CNT-Telconet-TransElectric que serían pagados por CEDIA.

A continuación, se puede observar en la tabla 7 el costo de los equipos a utilizarse:

Tabla 7 Costos de equipos físicos

Fuente: (PriceBlaze, 2020) (avanti, 2020) (PCNATION, 2020)

EQUIPOS FISICOS				
CANT.	EQUIPO	PRECIO	ESTADO	UBICACIÓN
1	Nokia Alcatel-Lucent 7705 sar-8	\$ 564.20	Restaurado	En Cada universidad
1	Router Cisco 7604	\$ 3 000.00	nuevo	
1	Rack 19 I600 22U 600 x 800	\$ 416.86	nuevo	En el IXP (uno solo)
1	Router Cisco 4461 ISR	\$ 15 131.89	nuevo	

Los equipos necesarios propuestos para el IXP (Rack 19 I600 y Router Cisco 4461) tendrían un costo único por una sola vez. A este costo hay que añadir los costos de colocación y arrendamiento del local físico donde estarían el rack con el router, que se estima en \$ 1000 mensuales (Chávez Reyes, 2015). Adicionalmente sea CNT, Telconet o TransElectric pueden cobrar por el transporte de datos desde y hacia el IXP, un valor total de \$6000 mensuales (en base al estudio de Chávez Reyes), considerando que los tres proveedores están relativamente cerca uno del otro en un punto como puede ser la Prosperina en Guayaquil (donde actualmente está el centro de datos de Telconet y cerca una subestación de TransElectric).

El valor de \$6000 mensuales por peering o transporte de datos es relativo. Otra forma de calcularlo es en base de la cantidad de datos transportados.

La Tabla 8 muestra unos costos de Peering por volumen de tráfico, tomados del estudio de Chávez Reyes. Estas dos formas de calcular los costos dan insumos para la negociación entre CEDIA y los tres proveedores.

*Tabla 8 Costos por Mbps del tráfico de peering  
Fuente: (Chávez Reyes, 2015)*

<b>Costo de peering asignado sobre el volumen de tráfico</b>			
		<b>Costo peering</b>	
<b>Intercambio Mbps</b>	100	\$ 170.00	per Mbps
	200	\$ 85.00	per Mbps
	300	\$ 56.67	per Mbps
	400	\$ 42.50	per Mbps
	500	\$ 34.00	per Mbps
	600	\$ 28.33	per Mbps
	700	\$ 24.29	per Mbps
	800	\$ 21.25	per Mbps
	900	\$ 18.89	per Mbps
	1000	\$ 17.00	per Mbps

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Las redes académicas de ciencia y tecnología van ganando fuerza en Ecuador, lo que nos hace reflexionar sobre la manera que dichas redes han estado manejándose hasta la fecha, es decir, sin tener físicamente un backbone propio. De tenerlo, mejoraría la disponibilidad del servicio como base tecnológica de la colaboración entre universidades e institutos ecuatorianos con sus pares extranjeros, aumentando así el interés de la comunidad de ciencia y tecnología, creando proyectos desde su país de origen con recursos de otras instituciones académicas (Melgarejo & Cadena, 2015)
- El trabajo realizado demuestra que es factible la instalación de un IXP para las redes académicas y de investigación del país y su interconexión con sus pares internacionales.
- Gracias a la investigación realizada se pudo comprender el propósito y funcionamiento de un IXP: resolver el tráfico entre las redes de pares que se conectan en un mismo punto físico. Para las redes de ciencia y tecnología, el IXP resolvería el intercambio de información que llega al mismo sitio que en un inicio serían el backbone principal del proveedor privado, en este caso CEDIA con los hilos arrendados mediante contrato IRU a Telconet, y el de respaldo de TransElectric al cual se interconectarían las universidades mediante la provisión de última milla de CNT.
- La implementación de un IXP en el país es una tarea técnicamente viable. El IXP estructuralmente consiste en un ruteador-conmutador localizado físicamente en un punto al que llegan, también físicamente, las redes que se quieren interconectar. En este caso, el punto puede ser el mismo Data Center de Telconet donde actualmente tiene CEDIA sus ruteadores, o en una subestación de TransElectric.

- Económicamente, el costo es mínimo como se puede visualizar en la tabla 7, pues se reduce a la compra de un equipo ruteador-conmutador en un rack de servidores de CEDIA que ya existe en el data center de Telconet en Guayaquil.
- Actualmente CEDIA es un proveedor privado, pero su directorio lo componen los rectores de las universidades, y hasta el momento, CEDIA mantiene un servicio eficiente de provisión de Internet comercial y avanzado. Por este motivo, la propuesta no es cambiar el modelo de negocio de CEDIA, sino cambiar el respaldo de acceso que actualmente da CEDIA a las universidades con la misma fibra óptica física de Telconet. El diseño, propuesto es que CEDIA brinde el acceso principal con los hilos de la fibra que arrienda a Telconet, y el respaldo sea con la fibra de TransElectric y el servicio de última milla de CNT.
- Con la información recopilada en esta investigación confirmamos que nuestra propuesta de un IXP es factible y sería de gran utilidad, soporte y sinceramiento en el servicio de Internet y redes avanzadas para la comunidad académica, de investigación y científica del Ecuador.

## **5.2 Recomendaciones**

- Recomendamos la implementación de nuestra propuesta de un IXP propio de C&T en el Ecuador con backbone de respaldo para mejorar la disponibilidad, control, redundancia y seguridad.

## Referencias

- Equipo Editorial. (04 de Diciembre de 2018). *¿Cuál es el mecanismo y la influencia en el tráfico de red de Multiprotocol Label Switching?* Obtenido de REPORTEDIGITAL: <https://reportedigital.com/cloud/multiprotocol-label-switching-mpls/>
- Aguirre Sánchez, L. P. (2013). *Rediseño de la red MPLS con soporte de IPv6 empleando las mejores prácticas de seguridad para el sistema autónomo de Telconet S.A. de la ciudad de Quito(Tesis de Pregrado)*. Escuela Politécnica Nacional. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5900>
- Alfonso, M. L. (06 de marzo de 2009). *REDES*. Obtenido de Redes: <http://martinezlugoalfonso.blogspot.com/2009/03/que-es-backbone.html>
- Auben. (2020). *Protocolos de Señalización MPLS*. Obtenido de Auben: <http://www.auben.net/index.php/tecnologias/g-mpls-e-ingenieria-de-trafico/ldp-rsvp>
- avanti. (2020). *Avanti*. Obtenido de avanti: <https://store.avantiglobalresources.com/>
- Avendaño, G. (21 de Enero de 2020). Reunion CEDIA - PUCE. (R. Melgarejo, Entrevistador)
- Baquero Dirani, X. (2015). Internet: Bienvenido al Ecuador! En ComputerWorld, *Top Tic 35 años de historia* (págs. 66-67). Quito: Ekos.
- BICC Cables Ltd. (1997). *Electric Cables Handbook*. Wiley.
- Cabletec. (2019). *¿QUÉ ES EL CABLEADO DE BACKBONE?* Obtenido de <http://www.cabletec.es/noticia/-que-es-el-cableado-de-backbone-19>.
- CAIDA. (2018). *ARank*. Recuperado el 17 de 5 de 2018, de <http://as-rank.caida.org/?page=1>
- CAIDA. (2020). *AS Rank IPv4*. Recuperado el 1 de 4 de 2018, de <http://as-rank.caida.org/about>
- Carvalho, J. P. (06 de Noviembre de 2019). CEDIA. (J. A. Rafael Melgarejo, Entrevistador)

CEDIA. (25 de Marzo de 2002). *Historia*. Obtenido de CEDIA:  
<https://www.cedia.edu.ec/es/historia>

CEDIA. (09 de Junio de 2003). *SOMOS PARTE DE REDCLARA*. Obtenido de CEDIA:  
<https://www.cedia.edu.ec/es/historia/somos-parte-de-redclara>

CELEC. (01 de Diciembre de 2019). *Transelectric*. Obtenido de Celec EP:  
<https://www.celec.gob.ec/transelectric/index.php/quienes-somos/la-empresa>

CELEC. (01 de Enero de 2020). *Infraestructura del Sistema Nacional de Transmisión (SNT)*.  
Obtenido de Celec EP: <https://www.celec.gob.ec/transelectric/index.php/informacion-de-gestion>

CELEC. (01 de Enero de 2020). *Mapa de conexiones*. Obtenido de Celec EP:  
<https://www.celec.gob.ec/transelectric/index.php/mapa-del-sistema-nacional-de-transmision>

Chávez Reyes, H. L. (Octubre de 2015). *Modelos de Costos IXPs*. Obtenido de [cudi.edu.mx](http://www.cudi.edu.mx):  
[http://www.cudi.edu.mx/otono\\_2015/presentaciones/ixp.pdf](http://www.cudi.edu.mx/otono_2015/presentaciones/ixp.pdf)

CISCO. (31 de Marzo de 2005). *Cisco 7604 Router*. Obtenido de Cisco:  
[https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/routers/7604-router/model.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/routers/7604-router/model.html)

CISCO. (12 de Marzo de 2008). *Cisco 7200 VXR Series Routers Overview*. Obtenido de CISCO:  
[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/7200-series-routers/data\\_sheet\\_c78\\_339749.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/7200-series-routers/data_sheet_c78_339749.html)

CISCO. (11 de Agosto de 2014). *Cisco 7604 Chassis Data Sheet*. Obtenido de Cisco:  
[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/7604-router/product\\_data\\_sheet0900aecd8027cc3e.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/7604-router/product_data_sheet0900aecd8027cc3e.html)

CISCO. (14 de 02 de 2019). *Cisco 4000 Family Integrated Services Router Data Sheet*. Obtenido de cisco.com: [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/4000-series-integrated-services-routers-isr/data\\_sheet-c78-732542.html#FeaturesandBenefits](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/4000-series-integrated-services-routers-isr/data_sheet-c78-732542.html#FeaturesandBenefits)

CISCO. (2020). *¿Qué es VRRP?* Obtenido de CISCO: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/security/vpn-3000-series-concentrators/7210-vrrp.pdf](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/security/vpn-3000-series-concentrators/7210-vrrp.pdf)

Consideraciones generales sobre el FMPT. (14-16 de 05 de 2013). *Centrales Internet (IXP)*. Obtenido de Consideraciones generales sobre el FMPT: <https://www.itu.int/en/wtpf-13/Documents/backgroundunder-wtpf-13-ixps-es.pdf>

DARPA. (2020). *About DARPA*. Obtenido de Darpa.mil: <https://www.darpa.mil/about-us/about-darpa>

Daudin, J. J., Picard, F., & Robin, S. (2008). Statistics and computing. En J. J. Daudin, F. Picard, & S. Robin, *A mixture model for random graphs* (págs. 173-183).

Del Barrio, D. (18 de Abril de 2012). *Beneficios de una Red Jerárquica*. Obtenido de Redes Jerárquicas y funcionamiento del Switch: <https://eltallerdelbit.com/redes-jerarquicas/>

Del Barrio, D. (18 de Abril de 2012). *Principios y Consideraciones de la Red Jerárquica*. Obtenido de Redes Jerárquicas y funcionamiento del Switch: <https://eltallerdelbit.com/redes-jerarquicas/>

Descubrir Online. (03 de Diciembre de 2019). *CAPEX y OPEX: qué son, ventajas y desventajas*. Obtenido de Descubrir Online: <https://descubrir.online/capex-y-opex-que-son-ventajas-y-desventajas/>

Disciplina de ICCR. (2019). *Topologia em Espinha Dorsal ou Backbone*. Obtenido de Disciplina de ICCR: <https://sites.google.com/site/disciplinadeiccr/Home/topologias-logicas-e-topologias-fisicas/6--topologia-em-espinha-dorsal-ou-backbone>

dstecnologia. (01 de Enero de 2020). *¿Qué es un Patch Panel?* Obtenido de Desarrollos y Servicios Tecnológicos: <http://www.dstecnologia.com.ar/pc/patch.html>

EaPConnect. (2020). *What is an NREN?* Obtenido de EaPConnect: <https://www.eapconnect.eu/about-eap/what-is-an-nren/>

ECURED. (01 de enero de 2020). *Redes de datos.* Obtenido de ECURED: [https://www.ecured.cu/Redes\\_de\\_datos#Concepto](https://www.ecured.cu/Redes_de_datos#Concepto)

El Comercio. (17 de 5 de 2014). Tendencias. *El Día de la Internet se celebra en Ecuador*, págs. <https://www.elcomercio.com/tendencias/dia-de-internet-se-celebra.html>.

ENERGYST. (2020). *GASTOS DE CAPITAL FRENTE A GASTOS DE EXPLOTACIÓN.* Obtenido de ENERGYST.COM: <https://www.energyst.com/es/noticias/capex-frente-a-opex/>

Espert, A. (22 de Mayo de 2018). *SCADA. ¿Qué es y qué permite hacer?* Obtenido de Sothis.tech: <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>

FCCID.io. (17 de Febrero de 2017). *Fotos Externas Fotos Externas 7705 SAR-X, Alcatel-Lucent Canadá INC.* Obtenido de FCC ID.io: <https://fccid.io/ANATEL/00388-16-05092/Fotos-Externas/5D362CEF-DA89-444A-B1D8-1E5FC3E0B69D>

Fisher, T. (10 de Noviembre de 2019). *What Is a Router and How Does It Work?* Obtenido de LifeWire: <https://www.lifewire.com/what-is-a-router-2618162>

Géant. (2017). *GÉANT – at the heart of Research and Education networking.* Obtenido de About GÉANT: <https://www.geant.org/About>

GÉANT. (01 de 01 de 2019). *Historia.* Obtenido de GÉANT - en el corazón de las redes de investigación y educación: <https://www.geant.org/About>

Internet Archive WayBack Machine. (24 de 5 de 2019). *NSFNET The Partnership that changed the world*. Obtenido de NSFNET: <https://web.archive.org/web/20160315162035/http://www.nsfnet-legacy.org/about.php>

Internet Society. (2020). *Breve historia de internet*. Obtenido de Internet Society: <https://www.internetsociety.org/es/internet/history-internet/brief-history-internet/>

Internet2. (2017). *The Internet2 community: enabling the future*. Obtenido de About us: <https://www.internet2.edu/about-us/>

Jisc. (2017). *History*. Obtenido de About Jisc: <https://www.jisc.ac.uk/about/history>

LA ROSA, A. (04 de Septiembre de 2019). *Protocolo BGP: Relevancia, Conceptos Básicos y Monitorización*. Obtenido de <https://pandorafms.com/blog/es/protocolo-bgp/>

MDC Data Centers. (31 de 07 de 2018). *Fundamentos de peering & IXP*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/mcallendc/fundamentos-de-peering-y-ixp>

Melgarejo, R., & Cadena, P. (10 de Julio de 2015). A proposal model to monitor interdisciplinary research projects in Latin American Universities. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, X(3), 102-108.

Molenaar, R. (Enero de 2020). *Multiprotocol BGP (MP-BGP)*. Obtenido de [networklessons.com](https://networklessons.com/bgp/multiprotocol-bgp-mp-bgp-configuration): <https://networklessons.com/bgp/multiprotocol-bgp-mp-bgp-configuration>

Moya Huidobro, J. M., & Millán Tejada, R. J. (2002). *Qué es ... MPLS(Multiprotocol Label Switching)*. Obtenido de CONSULTORÍA ESTRATÉGICA EN TECNOLOGÍA: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/mps.php>

NETDOT. (2019). *What is peering?* Obtenido de NETDOT: <https://www.netnod.se/ix/what-is-peering>

Nipper, A. (2018). *PeeringDB Update*. Dakar: Proceedings Africa Internet Summit.

Norton, W. B. (2014). *The Internet Peering Playbook. Connecting to the Core of the Internet.*

Orhan Ergun. (2020). *What is IRU ? Indefeasible Right of Use ?* Obtenido de OrhanErgun:

<https://orhanergun.net/what-is-iru-indefeasible-right-of-use/>

PAESSLER. (2020). *IT Explained: Dirección IP.* Obtenido de PAESSLER:

<https://www.es.paessler.com/it-explained/ip-address>

Payan, E. (02 de Diciembre de 2012). *Modelo de Redes Jerarquicas.* Obtenido de Gestion de

redes de datos: <http://tefy10.blogspot.com/2012/12/modelo-de-redes-jerarquicas.html>

PCNATION. (2020). *Cisco 4461 Router.* Obtenido de pcnation.com:

<https://www.pcnation.com/web/details/5RT332/cisco-4461-router-isr4461-k9>

PeeringDB. (2020). *PeeringDB.* Obtenido de PeeringDB: <https://www.peeringdb.com/>

Pérez Galdos, M. (2019). *SCADA: qué es y sus beneficios.* Obtenido de PARADISO:

<https://paradiso-fp7.eu/scada/>

Pérez Porto, J. (2008). *Definición de red.* Obtenido de Definicion.de: <https://definicion.de/red/>

Pérez Porto, J. (2008). *INTERNET.* Obtenido de definicion.de: <https://definicion.de/internet/>

Pérez Porto, J., & Merino, M. (01 de Enero de 2014). *RED DE DATOS.* Obtenido de Definición.de:

<https://definicion.de/red-de-datos/>

Pérez, M. (2016). *Aplicación de los modelos OPEX en algunas Tecnologías Móviles.*

PriceBlaze. (2020). *3HE02773AAAA01 Alcatel-Lucent SAR-8 8-Slot Chassis for 7705*

*(Refurbished).* Obtenido de PriceBlaze: [https://www.priceblaze.com/3he02773aaaa01-](https://www.priceblaze.com/3he02773aaaa01-Alcatel-Lucent-Network-Routers?ref=gshp&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiwA-EECLOapfxEAKGRjFlqxQ2Jfkx92sBalg5HtjNBRierIOC2Wan21CsQlXoC2GAQAvD_BwE)

[Alcatel-Lucent-Network-Routers?ref=gshp&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiwA-](https://www.priceblaze.com/3he02773aaaa01-Alcatel-Lucent-Network-Routers?ref=gshp&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiwA-EECLOapfxEAKGRjFlqxQ2Jfkx92sBalg5HtjNBRierIOC2Wan21CsQlXoC2GAQAvD_BwE)

[EECLOapfxEAKGRjFlqxQ2Jfkx92sBalg5HtjNBRierIOC2Wan21CsQlXoC2GAQAvD\\_B](https://www.priceblaze.com/3he02773aaaa01-Alcatel-Lucent-Network-Routers?ref=gshp&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiwA-EECLOapfxEAKGRjFlqxQ2Jfkx92sBalg5HtjNBRierIOC2Wan21CsQlXoC2GAQAvD_BwE)

[wE](https://www.priceblaze.com/3he02773aaaa01-Alcatel-Lucent-Network-Routers?ref=gshp&gclid=CjwKCAiAnfjyBRBxEiwA-EECLOapfxEAKGRjFlqxQ2Jfkx92sBalg5HtjNBRierIOC2Wan21CsQlXoC2GAQAvD_BwE)

- Quiroga, G. G. (2016). *Protocolos del modelo TCP/IP*. Obtenido de SlidePlayer:  
<https://slideplayer.es/slide/5551376/>
- Raffino, M. E. (29 de Agosto de 2019). *PROTOCOLO INFORMÁTICO*. Obtenido de Concepto.de:  
<https://concepto.de/protocolo-informatico/>
- RedClara. (2019). *Historia*. Obtenido de RedClara:  
<https://www.redclara.net/index.php/es/somos/redclara-la-organizacion/historia-de-redclara>
- RedClara. (2019). *Internet Comercial*. Obtenido de RedClara:  
<https://www.redclara.net/index.php/es/red/conectividad/internet-comercial>
- RedClara. (2019). *Somos*. Obtenido de REDClara: <https://www.redclara.net/index.php/es/somos>
- RedClara. (16 de Septiembre de 2019). *vRNIE - Red Nacional de Investigación y Educación Virtual*. Obtenido de RedClara: <https://redclara.net/index.php/es/servicios-rc/vrnie-red-nacional-de-investigacion-y-educacion-virtual>
- RedesPracticas. (2020). *PROTOCCOLO IGP*. Obtenido de Redes Practicas:  
<http://www.redespracticas.com/?Njs=t&pag=txtEnrutamientoNocionesB.php>
- RedesPracticas. (2020). *PROTOCOLO IS-IS*. Obtenido de RedesPracticas:  
<http://www.redespracticas.com/?Njs=t&pag=txtEnrutamientoNocionesB.php>
- RedesPracticas. (2020). *Protocolo OSPF*. Obtenido de Redes Practicas:  
<http://www.redespracticas.com/?Njs=t&pag=txtEnrutamientoNocionesB.php>
- Rendón Anaya, M. (2020). *Sistema Modelo OSI*. Obtenido de Mateorendona:  
<https://mateorendona.wordpress.com/sistema-modelo-osi/>
- RFC 4271. (2006). *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)*. Recuperado el 4 de 2018, de  
<https://tools.ietf.org/html/rfc4271>

- Richter, P., Smaragdakis, G., Feldmann, A., Chatzis, N., Boettger, J., & Willinger, W. (Noviembre de 2014). Peering at Peerings: On the Role of IXP Route Servers. *Conference on Internet Measurement Conference* (págs. 31–44). New York: Association for Computing Machinery. Obtenido de <https://doi.org/10.1145/2663716.2663757>
- Rivera Costales, J. (2012). *Mapa de Medios Digitales del Ecuador*. Quito: CIESPAL.
- Robledano, Á. (18 de Junio de 2019). *Qué es TCP/IP*. Obtenido de OpenWebinars: <https://openwebinars.net/blog/que-es-tcpip/>
- Rocha, M. (04 de Mayo de 2018). *Border Gateway Protocol*. Obtenido de Lacnic: <https://www.lacnic.net/innovaportal/file/2621/1/bgp-panama-lacnic29.pdf>
- Romero, N. (2015). Internet y su comercialización empresarial. En ComputerWorld, *Top Tic 35 años de historia* (págs. 68-71). Quito: Ekos.
- Sanchez Iglesias, A. L. (01 de Noviembre de 2019). *¿Qué es un HUB?* Obtenido de About Español: <https://www.aboutespanol.com/que-es-un-hub-841386>
- Sergio Heker. (1990). *The User's Directory of Computer Networks*. Elsevier.
- Sharan, A. (01 de Enero de 2020). *Protocolo de enrutamiento por vector de distancia (DVR)*. Obtenido de GeekforGeeks: <https://www.geeksforgeeks.org/distance-vector-routing-dvr-protocol/>
- Sierra García, M. (22 de Marzo de 2012). *Qué es un servidor y cuáles son los principales tipos de servidores*. Obtenido de aprenderaprogramar.com: [https://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=542:que-es-un-servidor-y-cuales-son-los-principales-tipos-de-servidores-proxydns-webftppop3-y-smtp-dhcp&catid=57&Itemid=179](https://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=542:que-es-un-servidor-y-cuales-son-los-principales-tipos-de-servidores-proxydns-webftppop3-y-smtp-dhcp&catid=57&Itemid=179)

Singh, M. (01 de Enero de 2017). *Border Gateway Protocol*. Obtenido de Bundelkhand Institute of Engineering & Technology (BIET) Jhansi: <https://www.geeksforgeeks.org/border-gateway-protocol-bgp/>

Tempest. (01 de Enero de 2020). *Alcatel Lucent 7705*. Obtenido de Tempest Telecom Solution: <https://www.tempesttelecom.com/products/alcatel-lucent-7705/>

UniTel. (2020). *Fibra oscura: Qué es y para qué sirve. Más allá de la fibra óptica*. Obtenido de UniTel: <https://unitel-tc.com/fibra-oscura-que-es-y-para-que-sirve/>

Williams, T. J. (1994). *The Purdue Enterprise Reference*. Indiana: Institute for Interdisciplinary Engineering Studies.