



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

“Revisión de literatura sobre el alcance tecnológico de MPLS y GPON en el contexto ecuatoriano”

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

**AUTOR: BAIDAL PERERO MELISSA VIVIANA
QUINDE CRUZ PAUL ANDRE**

TUTOR: Llerena Izquierdo Joe Frand

Guayaquil – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Melissa Viviana Baidal Perero con documento de identificación N° 0957535396 y Paul Andre Quinde Cruz con documento de identificación N° 0930760798 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 1 de febrero del año 2024

Atentamente,



Melissa Viviana Baidal Perero
0957535396



Paul Andre Quinde Cruz
0930760798

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Melissa Viviana Baidal Perero con documento de identificación N° 0957535396 y Paul Andre Quinde Cruz con documento de identificación N° 0930760798, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE EL ALCANCE TECNOLÓGICO DE MPLS Y GPON EN EL CONTEXTO ECUATORIANO”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de febrero del año 2024

Atentamente,



Melissa Viviana Baidal Perero
0957535396



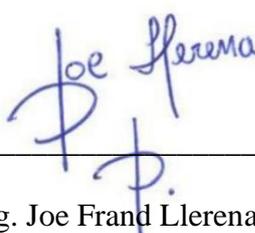
Paul Andre Quinde Cruz
0930760798

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joe Frand Llerena Izquierdo con documento de identificación N° 0914884879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE EL ALCANCE TECNOLÓGICO DE MPLS Y GPON EN EL CONTEXTO ECUATORIANO, realizado por Melissa Viviana Baidal Perero con documento de identificación N° 0957535396 y Paul Andre Quinde Cruz con documento de identificación N° 0930760798, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Joe Frand Llerena Izquierdo
0914884879

DEDICATORIA

A medida que me acerco al final de mi viaje académico como ingeniero de sistemas, he reflexionado sobre los desafíos que se han planteado, las noches largas de estudio y los momentos de satisfacción en esta travesía.

Este logro no solo me representa, sino que es el resultado del apoyo incondicional de mi familia, compañeros, docentes y, sobre todo, la gracia de Dios. Agradezco a Dios por brindarme la fuerza, sabiduría y perseverancia para superar los obstáculos y poder alcanzar este hito.

A mi Familia, sobre todo mención especial a Sergio Cruz, que ha sido mi motivación, mi roca y mi fuente de inspiración, por su apoyo inquebrantable. Sin su ayuda y guía este logro no sería posible.

A mis docentes, gracias por compartir sus conocimientos con paciencia y pasión. Sus enseñanzas, en mi han dejado una marca a lo largo de mi formación. A mis compañeros de clase que hemos compartido un sin número de emociones. Sin ustedes este logro no sería posible.

Con gratitud,
Paúl Quinde C.

Quiero dedicar este logro a mi familia y amigos que han sido un apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, el camino no ha sido fácil, pero gracias a su amor y sus aportes invaluable he podido culminar esta etapa tan importante en mi vida tanto a nivel personal como profesional.

A mi tutor Ing. Joe Llerena Izquierdo por su dedicación, apoyo y entusiasmo en el desarrollo de este artículo. A mis compañeros de clase con los que hemos compartido muchas emociones y logros juntos.

Melissa Baidal P.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en mi trayectoria académica y personal. Cada uno representa una huella imborrable en mi corazón, y su contribución ha sido invaluable.

A mis docentes, les agradezco por inspirarnos a aprender, su apoyo y conocimiento han influido significativamente en mi desarrollo profesional y personal. Han sido unos mentores excepcionales.

Este logro no sería posible sin la colaboración y el apoyo de todos ustedes. Gracias, de corazón por formar parte de mi historia y celebrar conmigo este logro.

Con aprecio y gratitud,
Paúl Quinde C.

Quiero agradecer principalmente a Dios por darme sabiduría y resiliencia para afrontar cada dificultad que se ha presentado en este camino universitario que me ha permitido llegar a este momento, a mis padres que han sido siempre el motor para poder cumplir este sueño, gracias por nunca dejar de creer en mí, este logro es tanto mío como de ellos.

A mis docentes; por sus conocimientos y orientación que han sido una guía en mi carrera profesional,

Agradezco de manera especial a mi tutor por su aporte invaluable que ha sido clave para culminar exitosamente este artículo.

Con Gratitud,
Melissa Baidal P.

RESUMEN

En la presente investigación se realiza un estudio de las principales tendencias de las tecnologías MPLS y GPON con el objetivo de identificar ventajas y desventajas de ambas tecnologías. Este estudio contribuye a la implantación de ambas tecnologías en Ecuador, un país en desarrollo. El uso de ambas tecnologías es imprescindible para la evolución constante del país, así como para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y generar mayor cantidad de ingresos a nivel nacional. Para cumplir con el objetivo de la investigación se realizó una revisión de la literatura a través de la metodología PRISMA, la cual facilitó la identificación de fuentes bibliográficas que aportaron elementos técnicos de ambas tecnologías, así como identificar un conjunto de buenas prácticas y recomendaciones para su aplicación en diversos escenarios urbanos y rurales. Se identifican además las principales desventajas de las tecnologías y se realiza un estudio de las valoraciones dadas por los autores en función de parámetros específicos. Se concluye que la implantación de ambas tecnologías en Ecuador son gran beneficio para el país desde el punto de vista económico y social.

Palabras claves: GPON, MPLS, norma, tecnología, Ecuador.

ABSTRACT

In this research, a study of the main trends of MPLS and GPON technologies is carried out in order to identify advantages and disadvantages of both technologies. This study contributes to the implementation of both technologies in Ecuador, a developing country. The use of both technologies is essential for the constant evolution of the country, as well as to improve the quality of life of its inhabitants and to generate more income at the national level. In order to meet the research objective, a literature review was carried out using the PRISMA methodology, which facilitated the identification of bibliographic sources that provided technical elements of both technologies, as well as identifying a set of good practices and recommendations for their application in various urban and rural scenarios. The main disadvantages of the technologies are also identified, and a study is made of the evaluations given by the authors in terms of specific parameters. It is concluded that the implementation of both technologies in Ecuador is of great benefit to the country from an economic and social point of view.

Key words: GPON, MPLS, standard, technology, Ecuador.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. METODOLOGÍA	11
3. RESULTADOS.....	13
Normativa ITU-T G.984	17
Análisis de tecnología GPON	18
Aplicación de la tecnología GPON en Ecuador	20
Análisis de tecnología MPLS.....	24
Aplicación de la tecnología MPLS en Ecuador	27
Resumen de Resultados.....	28
4. DISCUSIÓN	30
5. CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

En las redes de informática se transmiten por los enlaces físicos un conjunto de bits continuos mediante la técnica de conmutación de circuitos (Santacruz Zárate, 2023). Esta técnica se aplica para transmitir voz o datos desde un único emisor hacia un único receptor. Actualmente, internet funciona con una red de paquetes de datagramas, que resulta de dividir en trozos pequeños llamados paquetes (Campoverde Reyes, 2023). Para que estos paquetes fluyan por la red de modo que, si existe un problema entre la comunicación, se trate individualmente, y se pueda transmitir si un enlace mantiene un fallo (Porwal et al., 2008).

Ecuador es un país en desarrollo y el uso de la tecnología es aún más costoso y poco desarrollado (Ayala Carabajo & Llerena Izquierdo, 2014). Por lo que las personas utilizan cada vez más la tecnología, ya sea para mantenerse en comunicación con el mundo, o implementar soluciones para una red empresarial (Lu et al., 2020)

En los últimos años el país evidencia una revolución en las telecomunicaciones fomentada fundamentalmente por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. Ya en el 2015 el 50% de la población contaba con acceso a internet y en la actualidad esa cifra sigue en crecimiento (Chen et al., 2022). En el año 2020 el 53, 2% de los hogares en todo el país tuvieron conexión a internet, mientras que en las áreas urbanas el 61,7% y en las áreas rurales el 34,7%, lo que evidencia la constante evolución.

Ha existido una migración de tecnología ADSL (cobre) a la tecnología GPON (fibra óptica), logrando así una mejor conectividad hacia sus usuarios y este crecimiento seguirá en ascenso cada año, por lo que es necesario contar con información actualizada de la tecnología, así como sus ventajas y desventajas (Abdellaoui et al., 2021; Llerena et al., 2019; Selmanovic & Skaljo, 2010)

La demanda de servicios de calidad como transmisión de datos, televisión de alta definición y telefonía basada en VoIP, se consideran como retos principales para las instituciones proveedoras de servicios de comunicación y datos Internet Service Provider (ISP), entonces es primordial el evolucionar en su infraestructura y tecnología. GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabyte), ha influenciado en los ISP notablemente en su capacidad de transmisión de datos y prestación de servicios bajo una nueva arquitectura (Salazar-Chacón & García, 2021)

Por otra parte, las redes de conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) son basadas en paquetes con ventajas considerables, incluida un mejor uso de la red, una latencia de red reducida y la capacidad de cumplir con la calidad del servicio y los estrictos requisitos según cualquier tráfico entrante. Una gran cantidad de aplicaciones están migrando ahora a condiciones basadas en paquetes que causan una mayor presión sobre los proveedores de red para cambiar sus sistemas. Aún se están realizando innovaciones y mejoras en MPLS para garantizar que dichas redes puedan satisfacer la demanda de ancho de banda cada vez mayor cuando sea necesario (Silame, 2022).

En el Ecuador llevar a cabo la implementación de las tecnologías MPLS y GPON, ha sido fundamental para mejorar la infraestructura en las telecomunicaciones (Wu et al., 2022). MPLS puede beneficiar para las redes que operan las telecomunicaciones, ya que está permite que la gestión será más eficiente del tráfico que opera en el país. A su vez GPON ha sido esencial para

el crecimiento de la conectividad de ancho de banda a zonas rurales, facilitando el acceso a internet de alta velocidad, así contribuye al desarrollo socioeconómico del país.

Basándonos en lo previamente expuesto, se presenta la necesidad de desarrollar el trabajo investigativo teniendo como objetivo principal determinar el alcance tecnológico de MPLS y GPON para su implementación mediante una revisión de literatura.

2. METODOLOGÍA

De acuerdo con la investigación, se trata de un estudio de naturaleza descriptiva. La revisión de la literatura acerca del alcance tecnológico de MPLS y GPON permite describir de forma resumida lo que acontece en el contexto ecuatoriano y a partir de allí obtener conclusiones referentes al uso de estas tecnologías en Ecuador.

Para llevar a cabo esta investigación, se emplean los siguientes recursos como las bases teóricas de la metodología PRISMA, que permite responder a los objetivos propuestos en la investigación, así como obtener una mayor evidencia de información sobre el alcance tecnológico de MPLS y GPON para su posterior implementación en el campo de las telecomunicaciones en el contexto ecuatoriano. El estudio requiere un análisis exhaustivo de revisión sistemática de literatura para construir un corpus de conocimiento en un área específica. En esta instancia, se busca obtener una perspectiva integral del ámbito científico, los puntos de interés y las tendencias entre los investigadores.

Para desarrollar la revisión se realiza una revisión sistemática de literatura la cual asienta a fuentes a una revisión exploratorias de los catálogos de información secundaria como las bases indexadas de artículos de relevancia. Se establece una exposición del objeto de estudio del sondeo lo cual permite reducir la investigación a los trabajos relacionados con el área. Se realizan los siguientes pasos:

1. Definición de la pregunta de investigación y alcance de la revisión, que implica la especificación de las bases de datos de publicaciones científicas y la elaboración de la cadena de búsqueda
2. Establecimiento de los criterios de inclusión y exclusión
3. Elección de trabajos primarios dentro de las bases de datos seleccionadas
4. Definición de criterios de análisis
5. Sintetizan los resultados
6. Grafican los hallazgos
7. Análisis de resultados

La Figura 1 se representa las principales tareas a desarrollar

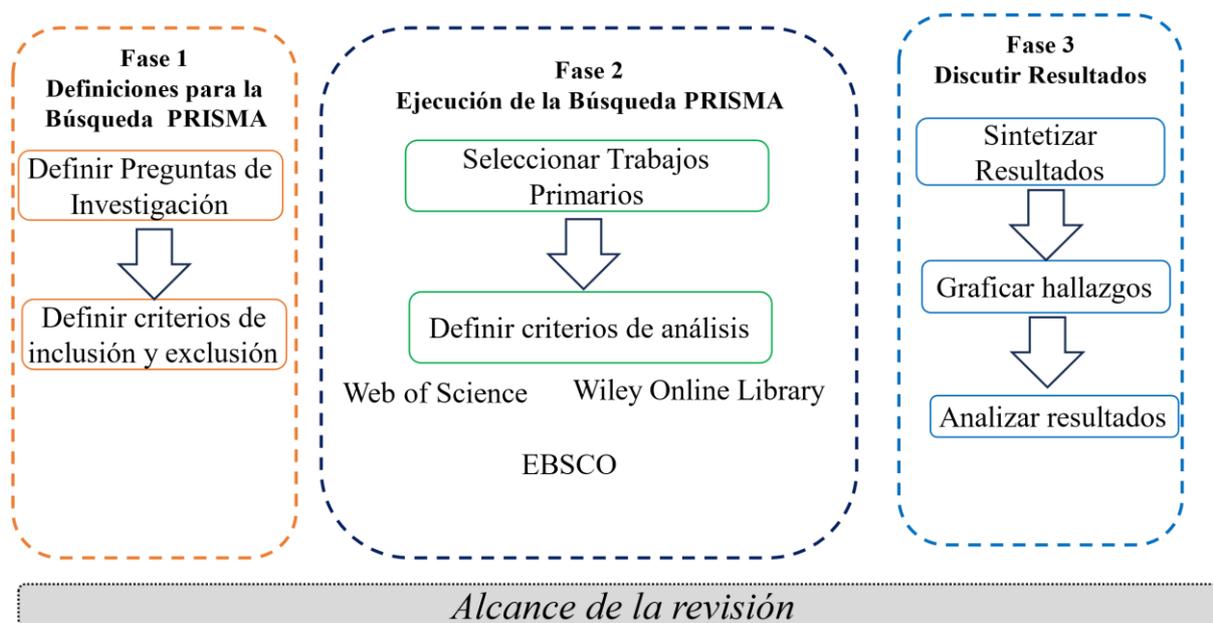


Figura 1. Actividades para desarrollar en la revisión literaria

Definiciones para la búsqueda

Preguntas de investigación

RQ1: ¿Qué ventajas poseen las tecnologías MPLS y GPON que permitieran realizar una valoración para su posterior implementación en el contexto ecuatoriano?

RQ2: ¿Qué dificultades pudieran identificarse de las tecnologías MPLS y GPON para su implantación en entornos similares al ecuatoriano?

Ámbito de la revisión

Aunque hay una amplia lista de bases de datos de publicaciones relacionadas con informática, este estudio se ha centrado en las fuentes de investigación más relevantes propuesta se enfoca en las investigaciones de los últimos años en las redes de telecomunicaciones y la conectividad de ancho de banda. Las bases de datos idóneas para localizar la mayor cantidad de publicaciones relacionadas son: IEEEEXPLORE, ACM DL, SCOPUS y WEB OF SCIENCE. Además, se llevaron a cabo búsquedas adicionales, como revisar las referencias de artículos relacionados.

El período de búsqueda incluye publicaciones desde el 2008 hasta la actualidad

Las cadenas de búsquedas utilizadas en los repositorios de las bases de publicaciones fueron fundamentalmente:

- (MPLS AND GPON AND advantages AND difficulties)
- TITLE ((“MPLS” OR “GPON) AND (“advantages” OR “difficulties”) AND (security) AND implementation costs)

Estas cadenas se adaptaron a los formatos específicos de cada base de datos.

Criterios para la inclusión y exclusión:

Para la elección de estudios, se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión/exclusión:

- Cualquier publicación científica es elegible para su inclusión en el estudio si está relacionada con el objetivo de la investigación.
- Se incorporaron estudios cualitativos como cuantitativos efectuados en tesis de titulación, así como referenciadas en la Web
- Se evaluaron trabajos en los idiomas inglés y español fundamentalmente.
- Se descartaron todos aquellos estudios cuyo enfoque principal se apartará del objeto para la investigación
- Fueron excluidos aquellos artículos que carecían de un diseño de investigación, se fundamentaban únicamente en opiniones de expertos y no presentaban una pregunta de investigación.

Conducta de búsqueda:

Para la identificación de los estudios primarios, se aplicaron los siguientes criterios de revisión:

1. Evaluación del Resumen o Abstract.
2. Aquellas publicaciones que superaron el filtro previo fueron objeto de una lectura y análisis exhaustivo de su contenido.

3. RESULTADOS

En el actual epígrafe se presentan a continuación las soluciones obtenidas luego de aplicar la metodología PRISMA para realizar una revisión de la literatura con mayor profundidad. Se consultan varias bases de datos con el objetivo de hallar varios artículos de valor científico entre ellas la Web of Science, EBSCO, Wiley Online Library y ScienceDirect. Se identificaron en una primera búsqueda un total de 1664, tras examinar el título y resumen se excluyeron de este total 1500 quedando un total de 164 para otra ronda de revisión. Del total de 164 fueron descartados 100 artículos entre las principales causas de la decantación se encontraron artículos duplicados, tesis no publicadas y artículos que solo se pudo encontrar el resumen. A partir de la revisión de 64 artículos en fase de elegibilidad se vuelven a decantar un total de 35 artículos después de llevar a cabo una revisión completa del texto y dentro de las principales causas se encontraron, artículos publicados en otros idiomas que no eran ni español ni inglés, artículos que no aportaban directamente a la investigación, investigaciones envejecidas entre otros. Quedaron finalmente para realizar el estudio un total de 29 artículos elegibles. En la Figura 2 se presenta el vínculo de los estudios mediante el modelo PRISMA.

Definición de estudios a través del diagrama de flujo PRISMA.

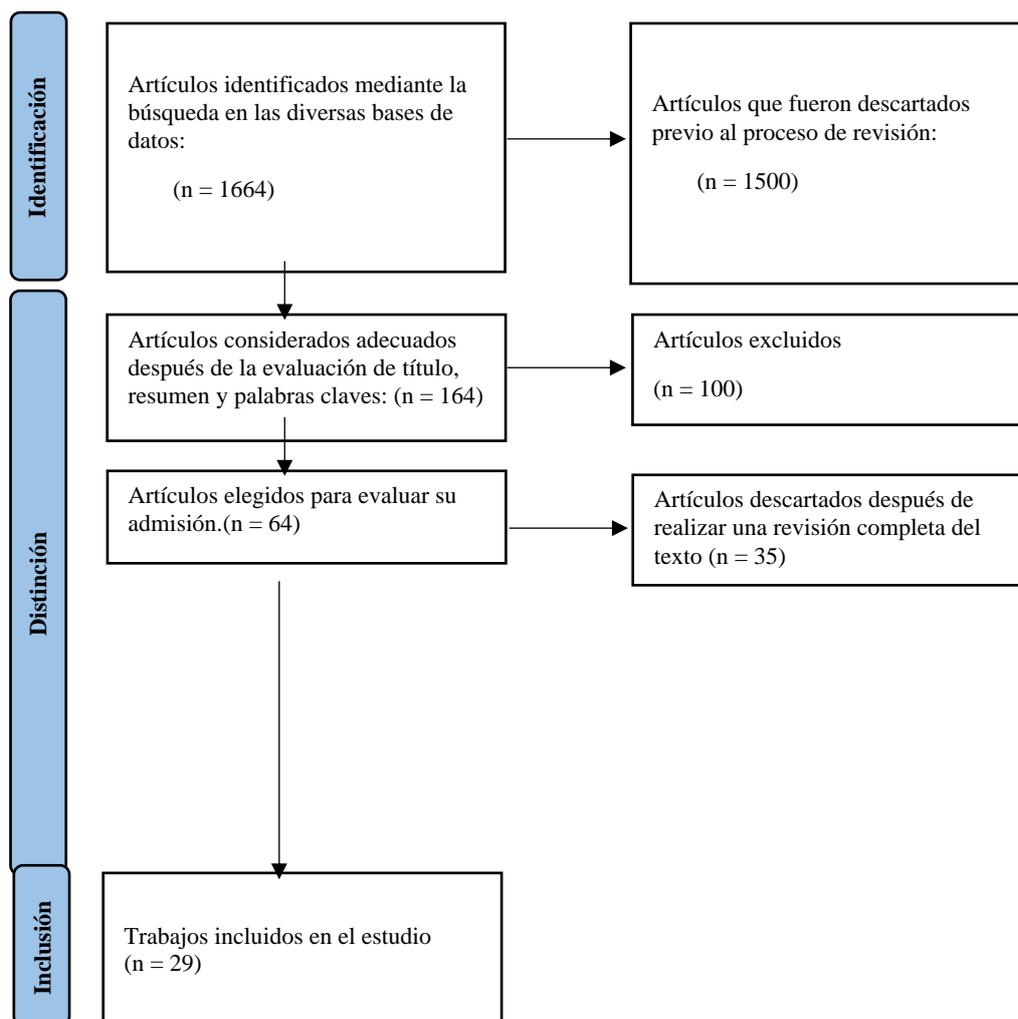


Figura 2. Estudios identificados bajo el modelo PRISMA

De los 29 trabajos revisados, se consigue un total de 20 artículos en IEEEExplore, 5 en Scopus, 2 en Springer y 2 en Web of Science.

Se realizaron las búsquedas en un rango desde el 2008 hasta la actualidad. En la primera búsqueda se identifican un total de 1664 trabajos, de ellos 294 de GPON y 1370 de tecnología MPLS. Luego de aplicar los filtros correspondientes en la presente investigación se analizaron un total de 29 trabajos con una distribución por años como presentamos en la Figura 3.

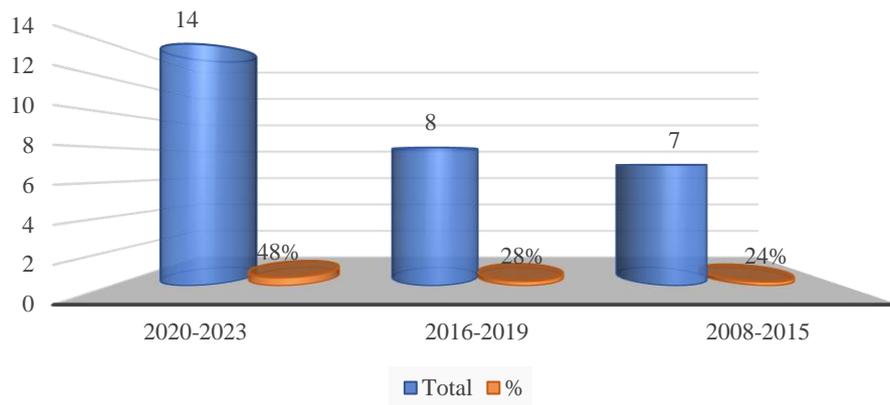


Figura 3. Distribución por años de la bibliografía

En la presentación de la Figura 3 este estudio de las referencias fue a partir del año 2008. El 48% de los trabajos consultados son de los últimos tres años, mientras que del 2016 al 2019 son el 28% de los trabajos consultados y el 24% del 2008 al 2015. Como se puede apreciar la mayor cifra de trabajos analizados son de los últimos tres años lo cual evidencia una actualidad del tema de investigación logrando analizarse sus principales tendencias y retos. Adicionalmente para comprender la evolución del tema se estudiaron trabajos con mayor antigüedad. El tema continúa siendo novedoso y actual.

En la Figura 4 se muestran las temáticas abordadas en la investigación

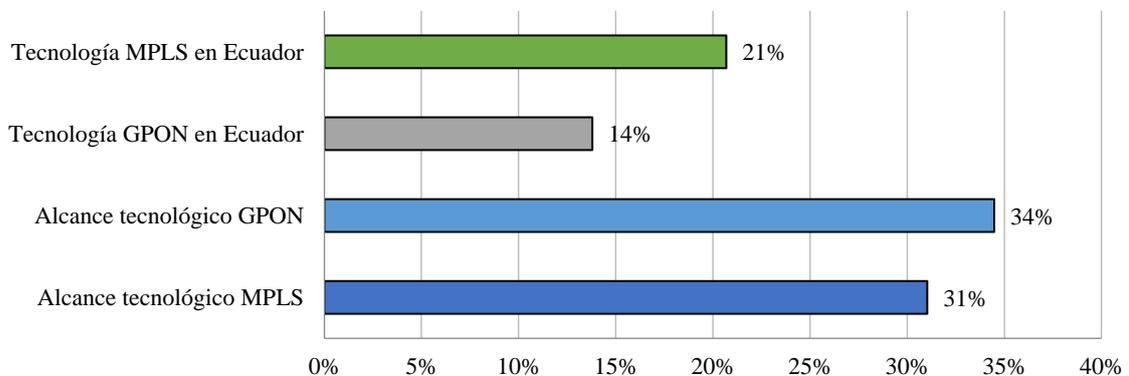


Figura 4. Temáticas abordadas en la revisión

En lo presentado de la Figura 4, el 34% de las referencias analizadas están enfocadas al alcance tecnológico de GPON y su aplicabilidad en diferentes entornos. Le sigue con el 31% el alcance de la tecnología MPLS la cual de igual manera se demuestran sus múltiples ventajas y aplicaciones. Por último, se realiza en un estudio de las posibilidades de implantación de ambas tecnologías en Ecuador con una representación del 21% de tecnología MPLS y el 14% de GPON. Se concluye que ambas tecnologías tienen múltiples ventajas a nivel internacional por lo que se adaptan de igual manera al entorno ecuatoriano.

En la Figura 5 se muestran los principales criterios que se tienen en cuenta para decidir si se implanta la tecnología.

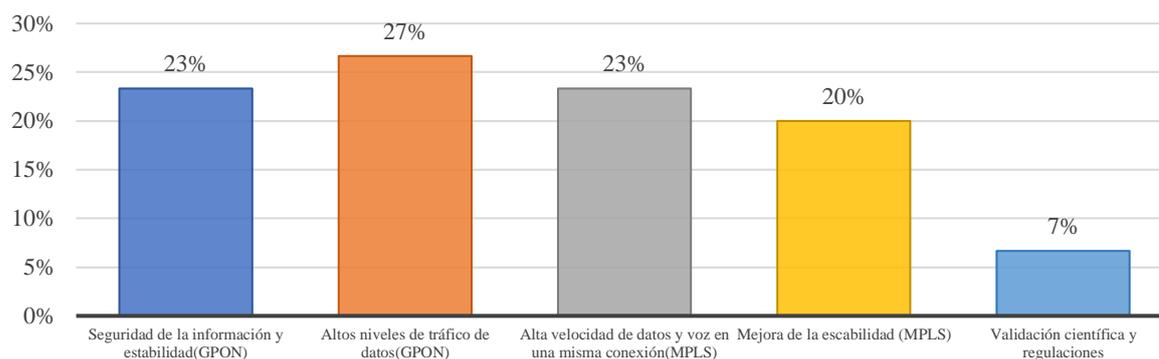


Figura 5. Criterios que se consideran para la implantación de la tecnología

Como se muestra en la Figura 5 el 27% de los autores refieren que la tecnología GPON permite altos niveles de tráfico de datos lo que garantiza un mayor flujo de contenidos multimedia o de otro tipo de tráfico de manera garantizada. Por el otra parte el 23% refiere que la tecnología GPON brinda seguridad de la información y estabilidad lo cual es un elemento clave para su uso en diversos entornos.

En el caso de la tecnología MPLS el 23% de los autores refieren que es una tecnología de alta velocidad de datos y voz en una misma conexión, mientras que el 20% hacen alusión a las mejoras que ofrece esta tecnología respecto a la escalabilidad.

El 7% de los autores hacen referencia a que ambas tecnologías tienen soporte científico y regulatorio haciendo énfasis de estos criterios en sus investigaciones.

Mostrando la Tabla 2 resumimos los trabajos primarios identificados más relevantes (ver Tabla 2) que resultaron de interés para la investigación. Todos son artículos de referencia para los análisis que se hicieron en el epígrafe. A partir de ellos se identifican los principales beneficios de ambas tecnologías, así como las limitaciones.

En la Tabla 1 se presentamos los principales acrónimos empleados en la investigación.

Tabla 1 Acrónimos utilizados en la investigación

Acrónimos	Significado
OLT	Terminal de línea óptica
ONU	Unidad de red óptica
PON	Red óptica pasiva
ONT	Terminal de nodo óptico
MPLS	Redes de conmutación de etiquetas multiprotocolo
GPON	Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit
ADLS	Línea de abonado digital asimétrica
ISP	Proveedor de servicios en internet
WDM	Técnica de transmisión por fibra óptica
BPON	Red Óptica Pasiva de Banda Ancha
EPON	Ethernet sobre redes ópticas pasivas
ODN	Medio de transmisión óptica para la conexión física de las ONU a las OLT
OAM	Conjunto de funciones que proporciona una indicación de fallo del sistema o de la red

QOS	Calidad del servicio
-----	----------------------

Tabla 2 Artículos de revisión consultados

No	Referencia	Tipo de referencia
1	(Danty et al., 2022)	Artículo original
2	(Ismail et al., 2017)	Artículo
3	(Bahnasse et al., 2018)	Artículo de Conferencia
4	(Mehraban et al., 2018)	Artículo de Conferencia
5	(Karakus & Durresi, 2019)	Artículo
6	(Lu et al., 2020)	Artículo
7	(Salazar-Chacón & García, 2021)	Artículo
8	(Tamanna & Fatema, 2017)	Artículo
9	(Ulloa et al., 2020)	Artículo
10	(Cabezas-Chica & Cabrera-Mejía, 2020)	Artículo
11	(Ab-Rahman et al., 2009)	Artículo
12	(María et al., 2018)	Artículo
13	(Kulkarni & El-Sayed, 2010)	Artículo
14	(Echraibi et al., 2021)	Artículo
15	(Naeem, 2019)	Artículo
16	(Gruber & Koutroumpis, 2013)	Artículo
17	(Chenji et al., 2012)	Artículo

Normativa ITU-T G.984

“La norma ITU-T G.984 es una recomendación extensa y muy compleja que no solo ayuda a tomar bases en el diseño y certificación de topologías GPON, sino también proporciona un criterio amplio que busca optimizar los recursos como elementos pasivos, además de proyectar diseños ideales para evitar trabajos después de la construcción” (Abdellaoui et al., 2021).

Para validar el proceso de certificación de una red FTTH GPON se establecen varios parámetros para garantizar el QOS. La Tabla 3 presenta estos parámetros los cuales deben ser respetados para la implantación de la tecnología.

Tabla 3. Parámetros para certificar una red FTTH GPON

Norma ITU-T G984.x			
ITU-T G.984.1(ITU-T,2011)	Características generales	Arquitectura del Sistema OAM, Tipos de interfaz: servicio usuario, Alcance lógico	Tipos de servicio. Tasa física de transmisión y recepción. Rendimiento del sistema
ITU-T G.984.2(ITU-T,2012)	Medios físicos dependientes	Parámetros Class B+ Potencia óptica máxima Potencia óptica mínima	ONT OLT +5dBm +5dBm +0,5dBm +1,5dBm

		Sensibilidad mínima	-27dBm	-28dBm
		Potencia óptica mínima de sobrecarga	-8dBm	-8dBm
ITU-T G.984.3(ITU-T,2014)	Convergencia de transmisión	Sub capas GPON TC Rango	Formato de trama Seguridad Ancho de Banda Dinámico Operaciones, administración y mantenimiento	
ITU-T G.984.4(ITU-T,2011)	Gestión ON, especificación de la interfaz de control	Interoperabilidad entre OLTs y ONTs de diferentes proveedores		
ITU-T G.984.5(ITU-T,2014)	Mejoramiento de banda	Define longitudes de onda reservados para las señales de servicio adicionales utilizando WDM en la factura red GPON Especifica los requisitos técnicos para la aplicación del filtro de longitud de onda en la ONT		
ITU-T G.984.6(ITU-T,2012)	Mayor alcance	Describe los parámetros de la arquitectura y la interfaz para los sistemas GPON con mayor alcance		

Análisis de tecnología GPON

El desarrollo de la utilización de una única fibra para el tráfico ascendente y descendente supone una mejora significativa. La creciente demanda de mayores velocidades en la red de acceso, y el uso generalizado de ATM y Ethernet hizo surgir el plan para desarrollar una PON con mayor capacidad superior a las arquitecturas BPON y EPON. Uno de los principales objetivos de este plan era elaborar una PON adaptable con un formato de trama capaz de transmitir paquetes de longitud cambiante a velocidades de gigabit por segundo. El grupo FSAN inició este intento en abril de 2001. El resultado fue la serie de Recomendaciones UIT-T G.984.1 para una (GPON). Este concepto son redes punto a multipunto en las cuales la fibra se enlaza a divisores ópticos pasivos de ahí surge el nombre de "Red Óptica Pasiva". La primera versión de PON asíncrona (APON), actualmente nombrada como PON de banda ancha (BPON), se efectuó para su uso comercial. Para realizar la transferencia de datos, se empleaba un protocolo en modo de transferencia asíncrono conocido como (ATM) con la capacidad de bajada de hasta 622 Mbps. Otra alternativa para el Ethernet PON (EPON), en el utilizando IEEE 802.3ah basando su estándar. Tiene la misma arquitectura que GPON y utiliza las mismas longitudes de onda, pero con protocolos distintos (Abdellaoui et al., 2021).

La red GPON está conformada a través de una ODN que otorga el tramo de conexión entre la OLT y la unidad o múltiples de la ONU, mediante cables catalogados como fibra óptica (Naeem, 2019).

Una red de arquitectura FTTH con tecnología GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit) posibilita soluciones con una eficiencia superior en el transporte de información, un más ancho de banda y tecnologías de servicios que abarcan internet, voz, telefonía IP e IPTV o televisión IP, entre otros. Comparado con las redes de cobre, la fibra óptica ofrece mayor seguridad de la información, mayor estabilidad, resistencia a las interferencias electromagnéticas, menor degradación de la señal, permitiéndole trabajar con altos niveles de tráfico de datos, contenidos multimedia y otros, de manera confiable y rápida, a través de una red certificada bajo normas y estándares establecidos (Abdellaoui et al., 2021; Chen et al., 2022).

Esta tecnología tiene un costo módico y emplea el uso de equipos pasivos salvo en las oficinas centrales y en su instalación en el domicilio del cliente lo cual es una ventaja. Tiene flexibilidad para gestionar tecnologías y aumentar servicios en un futuro. Permite incluir un máximo de 128 usos en una red con alcance máximo de 60 km y una distancia máxima entre terminales de red óptica consecutivos de 20 km, según la norma G.984.6 del UIT-T. GPON utiliza una transmisión de datos de 2,44 Gbps en sentido descendente y 1,24 Gbps en sentido ascendente (Abdellaoui et al., 2021; Naeem, 2019).

En el diseño de la red de distribución óptica se deben considerar elementos del diseño tales como: la cantidad de usuarios, costos, la flexibilidad con los servicios soportados, vida útil del tamaño en sitio, etc.

Para las redes FTTH GPON se sugiere efectuar diferentes experimentos reflecto métricas desde ONT hasta OLT. Otro elemento por considerar son las separaciones del cable en la red para identificar puntos de fusión, eventos de curvatura, splitters y conectores que son instalados en la red de distribución óptica.

Las reflectancias tienen un impacto significativo en la calidad del enlace. Si la pérdida es demasiado alta y supera el presupuesto óptico teórico, el receptor podría no recibir la potencia suficiente para recuperar la señal, lo que afecta al ORL y causando interferencia inter simbólica (ISI), lo que a su vez reduce la Relación Señal a Ruido (OSNR). Esto podría provocar un aumento en la tasa de errores de bits. En las redes PON, las longitudes de onda mínima es de 1310/1550 nm. Para mediciones, es importante contar con equipos que contemplen la banda de 1650 nm para ser utilizada cuando una fibra óptica este trabajando con bajo tráfico en tiempo real (Chen et al., 2022)

Para realizar la simulación de esta tecnología se sugiere Optisystem conocido como uno de los mejores sistemas de comunicación óptica diseñado para paquetes de simulación especialmente para pruebas.

Esta tecnología tiene múltiples ventajas entre ellas se destacan:

- El límite lógico es la distancia máxima entre la ONU/ONT y la OLT debido a las limitaciones de la capa física, la distancia máxima en el alcance lógico es de 60 km.
- El alcance físico entre 10 y 20 km. En el caso de que 10 km sea la máxima distancia en la que se puede emplear FP-LD en la ONU/ONT para la velocidad de bits altas. FP-LD en la ONU/ONT para velocidades binarias elevadas, como 1,25 Gbit/s o mayor.
- Flexibilidad en los servicios que soporta.
- Nivel de protocolo de transmisión protegido
- Tiene mayor velocidad de transmisión aumentando la transferencia de datos
- Reduce costo de despliegue ya que requiere menos OTL instaladas
- Admite 128 relaciones de división por OLT; cada divisor permite un máximo de 64 puertos de salidas a usuarios de ONU/ONT. Esto hace un total de:
 - Máximo de clientes: $128 \text{ (distribuidos/OLT)} * 64$
 - Permite aumentar el número de ONT asociadas a una OLT de cabecera similar

Para la Figura 6 se presenta la estructura de referencia para una GPON que puede ser utilizada en diversos escenarios.

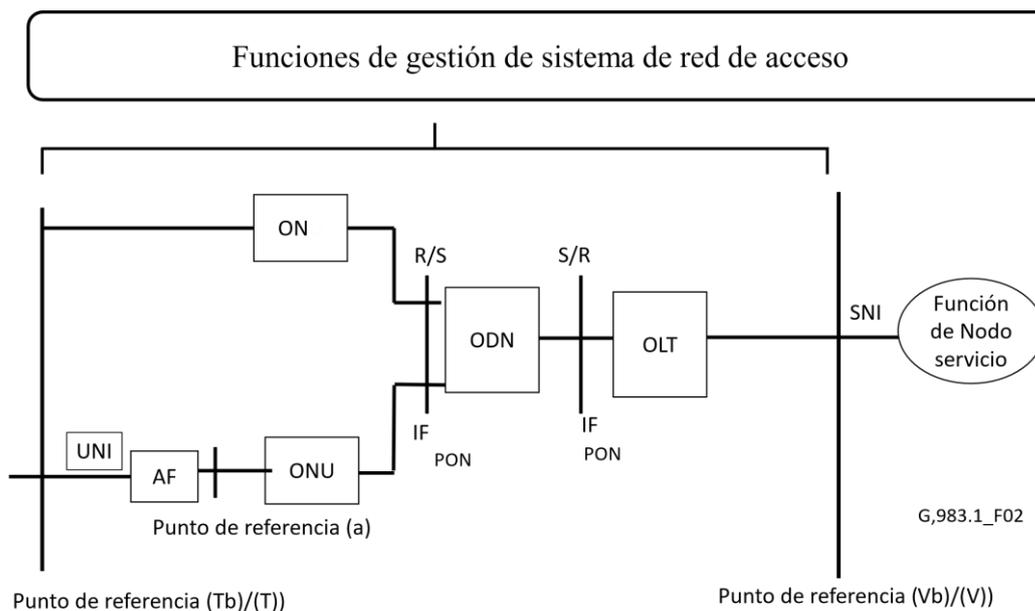


Figura 6. Estructura de referencia de una GPON

La transferencia óptica en la ODN se realiza de manera descendente en el OTL/ONU y de manera ascendente ONU/OTL, utilizando únicamente una fibra. Para optimizar la fiabilidad de las redes se puede usar un método de conmutación mediante la función de OAM este puede ser de manera automática (Mejia-Rendón et al., 2020)

Una de las recomendaciones de la ITU G.984.1. Se debe ser compatible con todos los servicios definidos con anticipación tales como:

- Servicios de datos, establecidos en la norma IEEE 802.3
- PSTN, servicios de POTS, redes de telefonía pública para generar una rapidez de 144Kb, para PRI una rapidez portadora del 1.544Mbps y de 2.048 Mbps
- Línea privada para los servicios T1 y E1, DS3 y E3 estaría compuesta por velocidades correspondientes a 1.544 Mbps, 2.048 Mbps, 44.736 Mbps y, por último, 34.368 Mbps, en consonancia con los servicios mencionados.

Respecto a las longitudes de onda se indica un rango de utilidad de 1480 a 1550nm y en el modo decreciente de 1260 a 1360nm. En un estudio realizado por diversos autores se proponen una serie de parámetros para la asignación de onda que son de utilidad en el entorno ecuatoriano (Mejia-Rendón et al., 2020)

Aplicación de la tecnología GPON en Ecuador

En la actualidad en Ecuador la tecnología existente en muchos lugares son las redes de cobre, pero estas no abarcan las demandas de los usuarios. En el futuro estas redes no serán capaces de cubrir las necesidades del país por lo que es necesario migrar a otra tecnología con mayor capacidad (Gruber & Koutroumpis, 2013)

En los últimos 5 años el desarrollo tecnológico en el país ha ido en avanzada. Ya en el 2019 contaba con una cobertura móvil del 96% de la población. Las inscripciones al ancho de banda móvil aumentaron notoriamente a más de 60.000km en los últimos años (María et al., 2018)

Desde el punto de vista legal el país también cuenta con respaldo normativo en el área de las comunicaciones. Desde el 2015 se dicta la ley Orgánica de Telecomunicaciones, por lo que se estipula el acceso web como un servicio básico. Entre los objetivos del país se tiene el aumento de los anchos de banda 3G, 4G y 5G, para poder generar más conexiones en el área rural donde los equipos de conexión no tienen acceso cómodamente. Es un propósito el incremento para aplicar banda ancha en todo el país ya que esto favorece el desarrollo social para una mayor implantación de soluciones en sectores como la justicia, salud y sobre todo en la educación juvenil. Desde el punto de vista económico garantiza una mejor utilización de la tecnología provocando efectos en la eficiencia y la productividad (María et al., 2018)

La aplicación de GPON en Ecuador se hace imprescindible por las múltiples bondades que ofrece, además de que los usuarios requieren adquirir anchos de banda para perfecciona servicios cada vez más usados tales como: redes virtuales, voz sobre IP, videoconferencia, IPVT y juegos en línea entre otros que hoy saturan el tráfico en la red (María et al., 2018)

En el país hay diversas experiencias con el uso de esta tecnología, corporaciones como ALFASAT, REDECOM y PUNTO NET tienen despliegues de GPON y están en constante ampliación ya sea en zonas rurales o urbanas. También compañías internacionales ofrecen soluciones tal como CLARO que tiene cobertura nacional.

A su implantación se dedican diferentes empresas que prestan servicios, pero el Ministerio de Comunicaciones es quien más ha impulsado este propósito. Para su despliegue se deben cumplir una serie de requisitos físicos para su implantación:

- Ancho de espectro
- Visión ocular: TU-TG.984.2 propone especificaciones de PMD dedicadas a OLT y ONU. Para el funcionamiento del sistema a una velocidad de flujo descendente de 2488 Mbps y 1244 Mbps de flujo ascendente, el tamaño espectral de 20 dB se puede fijar originalmente en 1nm. Para dar servicio a las ONUs desplegadas a 0-40 y 20-60 km.
- Rango de atenuación

Para la Tabla 4 presentamos varios parámetros de Calidad de servicio (QoS) los cuales se deben considerar según lo establecido por la UIT.

Tabla 4 Parámetros de Calidad de servicio

Parámetros	Especificación
IPT	Retraso de un extremo a otro
IPDV	Jitter, modificación de retarde en el paquete
IPLR	Conexión entre las tramas enviadas y las tramas de perdidas en respuesta.
IPER	Lazos de error bit en la acogida
IPRR	Proporcionar paquetes de entrada que permanecen sin servicio

En Ecuador un caso de éxito en el establecimiento de la tecnología es en Loja la cual se ha propuesto ser una ciudad inteligente. Para lograr este propósito fue necesario disponer de una red de Interconexión que pudiera soportar el movimiento de toda la información, teniendo de esta forma la base donde se desarrollara una ciudad Inteligente (Chenji et al., 2012). El uso de la GPON trajo consigo beneficios tales como accesibilidad de los datos, transparencia en la

gestión de gobierno, respuesta inmediata a eventos, mejoramiento de servicios en línea entre otros.

El uso de esta tecnología en el país permite reducir costos por la capacidad de soportar voz, video y datos en una infraestructura red unificada debido a su ancho de banda y excelente servicio (QoS) que ofrece fiabilidad. Es una tecnología ideal para emplear en las aplicaciones FTTH a mayor magnitud que muchos usuarios demandan. En el país este servicio es esencial para soportar servicios innovadores para clientes empresariales y abonados residenciales. Adicionalmente en los últimos años la tendencia de mayor cantidad de personas que adoptan el teletrabajo lo cual aumenta el número de videollamadas y la necesidad de acceso a instrumentos corporativos. También la realidad virtual es parte de muchos hogares y exige mayor conectividad y eficiencia.

En la Tabla 5 se muestra un estudio comparativo realizado por varios autores (Villalba et al., 2022) que permite evaluar los costos similares para implantación de la tecnología en Ecuador.

Tabla 5 Estudio comparativo entre tecnologías

Especificaciones	GPON		10G GPON	
			XG-PON	XGS-PON
Longitud de onda	Bajo agua: 1480-1500nm	Arriba: 1290-1330nm	Bajo agua:1575-1580nm	Bajo agua:1575-1580nm
			Arriba:1260-1282nm	Arriba:1260-1282nm
Centro de longitud de onda	Bajo agua: 1490nm		Bajo agua:1577nm	
	Arriba:1310nm		Arriba:1270nm	
Máxima velocidad de línea	Bajo agua: 2.488Gbit/s		Bajo agua:9.953Gbit/s	
	Arriba:1.244 Gbit/s		Arriba: 2.488 Gbit/s	
Máxima distancia física de transmisión	60km		100km	
	Nota: el alcance físico viene definido por la relación de división, el tamaño del módulo óptico y la calidad de la fibra		Nota: el alcance físico viene definido por la relación de división, el tamaño del módulo óptico y la calidad de la fibra	
Máximo radio de división	1:128		1:256	
	Nota: la relación de división real depende del modelo de módulo óptico y de la distancia de la fibra		Nota: la relación de división real depende del modelo de módulo óptico y de la distancia de la fibra	

Otra ventaja de la tecnología es que GPON es compatible con entornos como FTTH, FTTB, FTTC y FTTCab.

Dentro de las recomendaciones de la UIT-TRec L.42 las compañías deben considerar para elegir o crear una red de acceso óptica a su progreso(cantidad de las fibras, longitud de los cables de fibra), dimensión, función (rapidez, trayecto de recorrido), tolerancia de red, valores de construcción y mantenimiento (Maestre Góngora, 2015)

Otra de las ventajas que ofrece es que permite al abonado una comunicación telefónica de alta calidad comunicación telefónica mediante un teléfono IP, varios números en una sola línea y, si el cliente lo desea, es posible guardar el número después de cambiar de lugar de residencia (Selmanovic & Skaljo, 2010). Adicionalmente como no hay energía eléctrica en la fibra óptica, por consiguiente, no genera peligro para el cliente, de generarse una expulsión de corriente, y un cable de este tipo es completamente insensible para la humedad elevada.

La utilización de la tecnología favorece a los usuarios de internet con un ancho de banda que supera los 500 Mbps y la conexión de varios dispositivos simultáneamente no se ve afectada. Comparada con tecnologías precedentes existentes en el país permite tener una mayor cantidad de divisiones, diferenciándose de la EPON, posibilitando además mayor ancho de banda. Puede emplear un mecanismo de encapsulamiento denominado GEM que tolera varios modelos de servicio.

Una de las desventajas identificadas de la tecnología es el tiempo de recuperación del costo de implantación de la tecnología, ese gasto se recupera con mayor rapidez cuando el número de abonados es grande en las ciudades, existiendo una mayor utilización del servicio. En el caso de los lugares alejados todavía la implantación de esta tecnología resulta más compleja.

Dentro de los elementos que se deben considerar para su implantación se encuentra hacer una evaluación económica donde se puede considerar el costo de algunos equipamientos como los que se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6 Equipamiento para valorar Costo

Equipamiento
Bastidor repartidor de fibra óptica de 19"
OTL para 10lots
OTN indoor con salida 4 puertos ethernet 10/100/100
ODF de 19" de 96 puertos SC/APC
ODF de 19" de 48 puertos SC/APC
ODF de 19" de 12 puertos SC/APC

En dependencia del lugar donde se vaya a implantar la tecnología los costos pueden variar, así como evaluar la inclusión de otros equipamientos (Gruber & Koutroumpis, 2013). Un concepto para considerar también son los activos intangibles tales como: los softwares para los servidores, costos por publicidad entre otros.

Como desventaja de la tecnología se identifica que la tecnología prevé el uso del canal de luz para transmitir información por fibra. Además, se puede dañar la fibra óptica por impacto mecánico sobre ella para evitar riesgos, se recomienda instalar el ONU/ONT lo más cerca posible desde el punto de inicio a la red GPON. de la casa. Se debe evitar apretar el cable para no disminuir su rendimiento, la restauración de la fibra puede resultar un costo elevado.

Las redes de fibra óptica son muy susceptibles a condiciones que pueden causar atenuación. Estas van desde la calidad del medio o cable de fibra, conectores o empalmes, y por lo tanto están expuestas permanentemente a fallas, cortes o degradaciones de enlaces debido a defectos en el cable, curvaturas pronunciadas, quemaduras y empalmes defectuosos (Ab-Rahman et al., 2009). Para evitar estas fallas se recomiendan constantes servicios de mantenimiento, así como el monitoreo de forma remota y periódica. También es posible llevar a cabo mediciones de

potencia y reflectometrías para verificar que la documentación de la configuración de la red sea precisa y que esté en perfecto funcionamiento, conforme a las especificaciones de los equipos activos y elementos pasivos como tramos de fibra, armarios de distribución, enlaces de última milla e incluso segmentos GPON directos a los clientes. Para realizar diagnósticos efectivos de fallas se han realizado investigaciones basadas en las bondades de la inteligencia artificial que favorecen la predicción de fallos (Echraibi et al., 2021)

Existen tres elementos fundamentales para contribuir en el éxito de la gestión de las fallas en las redes de fibra óptica: Documentación y bitácora de servicios, sistemas de administración de red y sistemas de implementación de información (Ab-Rahman et al., 2009)

Como resumen del análisis de los resultados de la tecnología a partir de la revisión de los trabajos de diversos autores se pueden evaluar los parámetros que se muestran en la Tabla 7 con las etiquetas lingüísticas: índice alto, índice medio e índice bajo.

En base a lo presentado en la Tabla 6 existe una calculo positivo de todos los autores respecto a la tecnología siendo propuesta en todos los casos para su implantación. Cabe señalar que una de las etiquetas evaluadas de alta fue los costos de la tecnología que si bien por una parte impulsa el desarrollo se debe considerar no solo los costos de su implantación sino también de su mantenimiento.

Tabla 7. Valoración de autores de parámetros para la implantación de la tecnología GPON

Parámetro	(Abdellaoui et al., 2021)	(Selmanovic & Skaljo, 2010)	(María et al., 2018)	(Ab-Rahman et al., 2009)	(Kulkarni & El-Sayed, 2010)	(Naeem, 2019)	(Gruber & Koutrompis, 2013)	(Chenji et al., 2012)
Costo	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Medio
Calidad de Servicio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto
Escalabilidad	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto
Optimización	Índice Alto	Índice Medio	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio
Conectividad	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto
Flexibilidad en el servicio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto

Análisis de tecnología MPLS

“La tecnología MPLS proviene de las siglas en inglés (Multiprotocolo Rabel Switching) traducido al español significa la conmutación de etiquetas multiprotocolo, es introducida en el año 1997. MPLS significa conmutación de etiquetas "multiprotocolo"; multiprotocolo, porque

sus técnicas son aplicables a cualquier protocolo de capa de redes. La MPLS mejora la forma habitual en la que funciona Internet.” Es dominante a las Redes Privadas Virtuales (VPN) escalable y a la calidad de servicio end-to-end (QoS), habilitando la utilización eficiente de las redes existentes para resolver el crecimiento futuro y la corrección rápida del incidente del enlace y de la falla de nodo (Bahnsse et al., 2018).

MPLS se encuentra entre las capas de enlace y red del modelo OSI, y surgió con el propósito de transmitir datos y voz a ultra alta velocidad en una misma conexión, ofreciendo confiabilidad y un rendimiento mejorado en las comunicaciones. Esto lo convierte en una solución ideal para centrales telefónicas VoIP, ya que permite la priorización del tráfico de voz y es compatible con diversos protocolos de enrutamiento. La red MPLS consta de dos nodos principales: el enrutador de etiquetas de borde (LER) y el enrutador de conmutación de etiquetas (LSR), que, aunque son físicamente el mismo dispositivo, pueden ser un switch o un router de red troncal. El administrador configura el modo de operación según las necesidades.

MPLS utiliza el Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP) para proporcionar a la red los medios necesarios para enviar y acceder a la información de enlace de etiquetas entre los enrutadores LSR. Los enrutadores establecen sesiones LDP con sus pares potenciales y, finalmente, definen una ruta de conmutación LSP, logrando el intercambio de conmutación de etiquetas y enviando el paquete a su destino.

Por otra parte, otros autores indican que actualmente, la tecnología MPLS se considera la base de la capa de transporte de las redes de próxima generación, aprovechando la llegada de enrutadores potentes que alcanzan velocidades de gigabits por segundo. Esto se debe a que las tecnologías actuales han perdido impulso frente a las demandas crecientes de velocidad y rendimiento. Esta tecnología es mejor opción para empresas medianas y grandes que proveen el servicio de voz, datos y Tv en computación de paquetes (Danty et al., 2022)

Dentro de sus ventajas se destaca igualmente su simplicidad de migración a tecnologías superiores, así como adaptabilidad (Lu et al., 2020)(Karakus & Durresi, 2019). Se utiliza también para para la conmutación de paquetes mediante etiquetas y reenvío virtual (VRF) obteniéndose excelentes resultados (Mehraban et al., 2018)

Investigaciones recientes reflejan que se debe ser cuidadosos en las propuestas de nuevo protocolos y diseños para MPLS con el fin de garantizar que se consigue el rendimiento más eficiente y óptimo. Aunque es una tecnología prometedora para las redes del futuro aún se deben superar retos de seguridad y a la migración MPLS-TP (Ulloa et al., 2020)

Servicios basados en tecnología MPLS

Servicio de Redes Privadas Virtuales (VPN): Según informe publicado por CISCO este servicio transforma su negocio a través de la innovación que estima que el mercado global de VPN alcanzando los 106 mil millones de dólares en el 2022, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 13%. Su principal desventaja es el costo de este.

Dentro de los emuladores que se utilizan para validar el servicio se encuentra GNS3 (Graphical Network Simulator) que es aplicable para escenarios en tiempo real más utilizados a nivel mundial (Danty et al., 2022)(Lu et al., 2020).

GNS3: para la implementación de la topología de la red de área amplia

D-ITG: para la generación de tipos de tráfico

Según diversos autores este servicio es también eficiente a grandes distancias utilizando el protocolo de implementación Multi Protocol eBGP Multisalto entre Route Reflectors (Ismail et al., 2017)

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones los estándares o recomendaciones de la UIT-T G.1010, Y 1541 y IEEE 802.1p que establecen los parámetros evaluación de la calidad de servicio, esta tecnología garantiza la disminución de parámetros tales como: pérdida de paquetes por etiquetas, retraso y las fluctuaciones

Dentro de sus principales ventajas se puede resumir:

- Mejora de la escalabilidad del enrutamiento para capa de red mediante el uso de etiquetas agregando información de reenvío.
- Mejoras en flexibilidad de prestación en los servicios de enrutamiento utilizando etiquetas MPLS para identificar el tráfico con QoS y proporcionar así un tratamiento especial.
- Aplica el paradigma de intercambio de etiquetas para optimizar las redes y mejorar así el rendimiento.
- Simplifica la integración de routers con tecnología basada en conmutación celular mediante direccionamiento, enrutamiento y control de gestiones comunes.
- Ofrece una de las mejores tecnologías para para gestionar dinámicamente el tráfico con distintos requisitos de SLA y superar los fallos con prontitud para garantizar que los consumidores puedan disfrutar sin interrupciones de los servicios prestados por sus proveedores de red.

Dentro de sus principales desventajas se encuentra el tiempo que puede llevar su instalación, así como sus altos costos ya que requiere servicio contratado de operador o empresa de telecomunicaciones (Karakus & Durrese, 2019).

También se identifican posibles problemas técnicos de proveedores al migrar redes MPLS-TP (Haddaji et al., 2018)

Los factores financieros es un elemento esencial para la aplicación de esta tecnología en Ecuador si los escenario de implementación son los hospitales, banco, escuelas entre otros estatales(Karakus & Durrese, 2019). Dentro de las principales dificultades identificadas en Ecuador en la empresa Pintulac una de las 200 empresas más grandes del país se identifica:

- Elevados gastos mensuales y anuales de servicio por sucursales
- Considerable cantidad de recursos y tiempo requeridos para solucionar problemas en la red

Para evaluar la tecnología se proponen parámetros como los que se muestran en la Tabla 8 los cuales deben ser considerados para asegurar el éxito en la implementación de la tecnología.

Tabla 8. Parámetros para evaluar la tecnología MPLS

Parámetro	Descripción
Conexión	Enlace único
Despliegue	A través de ISP

Visibilidad	Monitoreo de terceros
Seguridad	Red cerrada con vulnerabilidad
Rendimiento	Ruta fija de comunicación

Aplicación de la tecnología MPLS en Ecuador

En los estudios realizados se han identificado diversos casos de aplicación de la tecnología MPLS en el país a partir de una necesidad de unificar varios de los servicios como voz y datos, vídeos e internet bajo una misma plataforma y lograr una mayor escalabilidad de los servicios. A continuación, se resumen las principales experiencias de aplicación en este país.

En la actualidad esta tecnología se encuentra implementada en las operadoras de servicios del Ecuador, como también en varias empresas corporativas que ven en las redes MPLS, como principal beneficio, la optimización de su tráfico a través de túneles Traffic Engineering, la implementación de Redes Privadas Virtuales y la diferenciación de clases de servicios (Tamanna & Fatema, 2017)

Ha sido implementada en la Universidad de Guayaquil con buenos resultados logrando una mayor confidencialidad de los datos transmitidos, así como adaptabilidad en función de la demanda de la universidad. A partir de esta experiencia los usuarios aseguran una mayor confianza y fiabilidad en las redes. La misma permite el uso de varios protocolos de enrutamiento dinámico como RIP, EIGRP, OSPF, así como enrutamiento estático enrutadores (Lu et al., 2020).

Otra Universidad donde ha sido utilizada esta tecnología es en la Pontificia Católica de Ecuador. Los resultados demostraron que la utilización de la tecnología optimiza los recursos en una subestación y garantiza los tiempo de respuesta (Salazar-Chacón & García, 2021). Para el servicio de teleprotección aún no se recomienda esta tecnología por los autores de esta investigación.

Otros escenarios donde la tecnología ha tenido un impacto positivo es en medianas Empresas (Tamanna & Fatema, 2017). MPLS tiene campo de aplicación en Ecuador en:

- Redes privadas virtuales
- Ingeniería de tráfico
- Clase de servicio (CoS)

El diseño de esta red va a depender en mayor magnitud en base a las necesidades que requiera el cliente y por tanto el aumento o disminución del costo también. Para realizar este tipo de simulaciones se recomienda el software GNS33 con gran aplicabilidad y está basado en IOS Cisco. Es una herramienta útil para simular escenario de prueba (Tamanna & Fatema, 2017). Es importante sugerir una computadora de altas prestaciones para poder utilizar esta herramienta.

Esta tecnología comparada con otra como SD-WAN de Aruba Networks es más costosa para su implantación en Ecuador menos eficiente (Karakus & Durresi, 2019)

Para resumir los principales hallazgos de esta tecnología en las fuentes primarias analizadas en la Tabla 8 se muestra la evaluación de diversos parámetros por los autores en los análisis de

resultados de sus investigaciones. Para estandarizar la interpretabilidad de la información se utilizaron las etiquetas lingüísticas: Índice bajo, índice medio e índice alto

Etiquetas para valorar las características: índice bajo, índice medio, índice alto

A partir de la valoración de los autores que se muestra en la Tabla 9 se evidencia que la implantación de esta tecnología tiene un costo, aunque también se evidencia una calidad en el servicio que ofrece. La estabilidad de las rutas es otro elemento que se debe tener en cuenta, pero en sentido general es una tecnología que tiene múltiples beneficios en el desarrollo de las comunicaciones.

Tabla 9. Valoración de autores de tecnología MPLS

Parámetros	(Danty et al., 2022)	(Ismail et al., 2017)	(Bahnasse et al., 2018)	(Karakus & Durrezi, 2019)	(Chenji et al., 2012)	(Mehraban et al., 2018)	(Lu et al., 2020)
Seguridad	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto
Costos de implementación	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto
Velocidad del servicio	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio
Calidad del servicio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio	Índice Alto	Índice Alto	Índice Medio
Tiempo de implementación	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio
Escalabilidad	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto	Índice Alto
Estabilidad en las rutas	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio	Índice Medio

Resumen de Resultados

A partir de los análisis realizados en el epígrafe resultados se pueden resumir los siguientes elementos:

Las limitaciones más representativas identificadas por los autores se muestran en la Figura 7

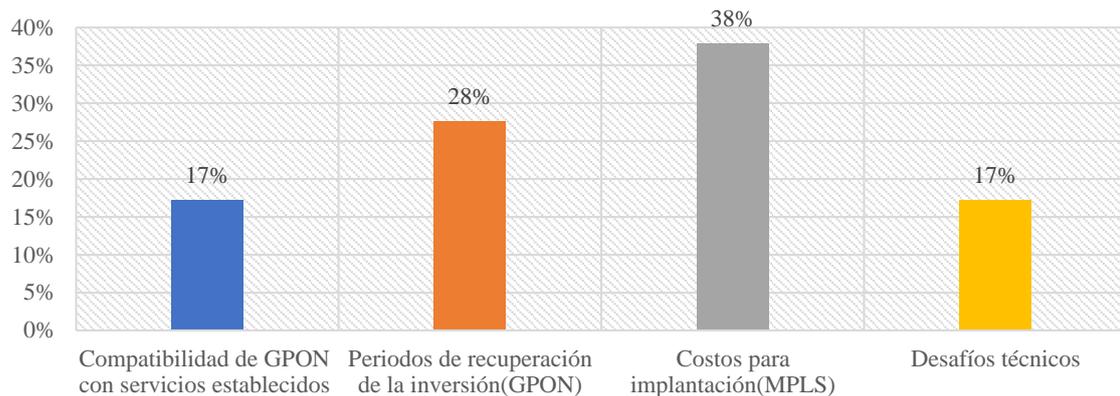


Figura 7. Limitaciones identificadas de MPLS y GPON

Como se muestra en la Figura 7, el 38% de los autores subrayan que los costos de implantación de la tecnología MPLS pueden ser altos según el escenario donde se requiera el desarrollo de la tecnología por lo que lleva realizar un adecuado estudio de factibilidad para su pronta recuperación.

Para el caso en esta tecnología GPON el 28% entre los autores señalan los costos de recuperación de la implantación de la tecnología, estos pueden disminuir si el número de abonados aumenta, mientras que si ocurre el proceso inverso se puede tardar en recuperar la inversión.

Otro elemento de interés son los desafíos técnicos que pueden generar la implantación de ambas tecnologías identificado por el 17% de los autores como importante. Deben estar correctamente capacitados los recursos humanos que instalen la misma, así como realizar un correcto diseño de cada uno de los componentes que lleva. Esto está relacionado con que el 17% de los autores hacen referencia a la compatibilidad de GPON con los servicios establecidos por lo que hay que tener en cuenta los requisitos establecidos por ITU G.984.1.

A partir de las experiencias de implantación en diferentes escenarios de la Figura 8 se presenta varios elementos más relevantes.

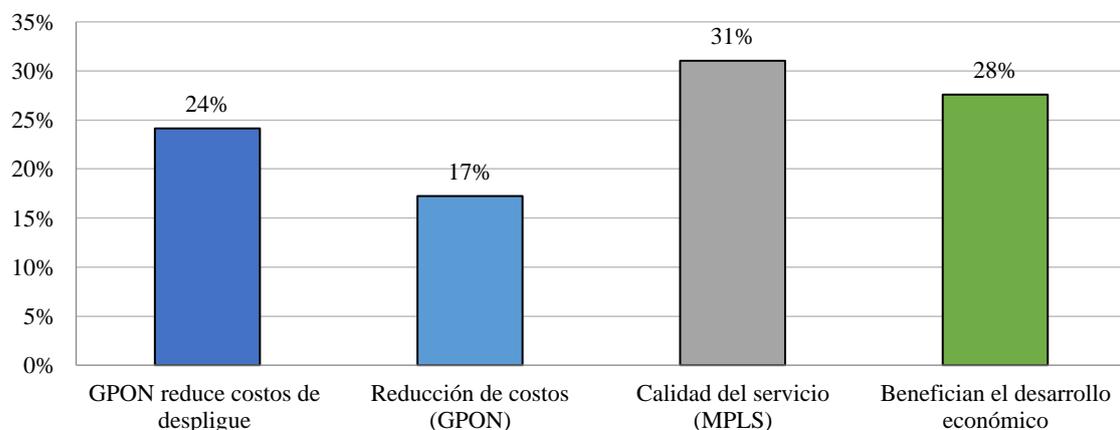


Figura 8. Elementos significativos de tecnología GPON y MPLS

Como se muestra en la Figura 8, el 31% de los autores señalan que la tecnología MPLS tiene una alta calidad de los servicios lo cual es validado por sus usuarios, mientras que el 28% hacen referencia a que ambas tecnologías han representado beneficios económicos en los lugares que han sido implantadas por lo cual son recomendadas en disímiles escenarios. De igual manera en el 24% de los trabajos analizados se reconoce que GPON reduce costos de despliegue comparado con otras tecnologías y el 17% reconoce que GPON reduce costos en sentido general.

Se identifican además a partir de las referencias estudiadas los resultados que se presentan en la Figura 9.

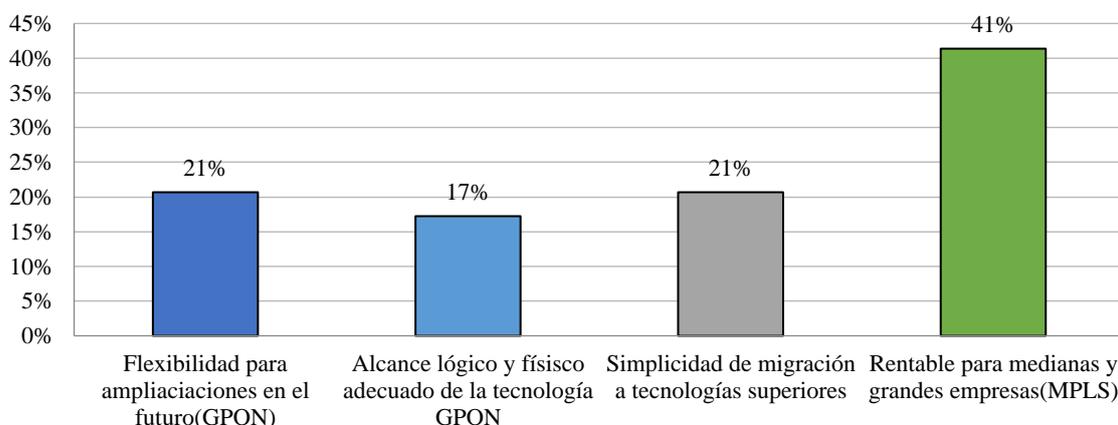


Figura 9. Resultados identificados en la revisión de la literatura

Como se presenta en la Figura 9, en el 41% de las referencias se afirma que ambas tecnologías son rentables para medianas y grandes empresas lo cual valida su utilización en países como Ecuador. El 21% afirma que las tecnologías garantizan una simplicidad de migración a tecnologías superiores lo cual las hace más atractivas. En el caso de GPON el 21% de los autores identifican que es una tecnología flexible para ser ampliada en el futuro lo cual facilita su escalabilidad y por último el 17% identifica que GPON tiene un alcance lógico y físico adecuado.

4. DISCUSIÓN

Para dar cumplimiento el objetivo de la investigación se analizaron un total de 29 referencias bibliográficas con actualidad científica de las cuales el 48% de los trabajos consultados son de los últimos tres años, mientras que del 2016 al 2019 son el 28% de los trabajos consultados y el 24% del 2008 al 2015. Existe actualidad del tema de investigación y se visualiza en la investigación realizada.

A partir del estudio se identificaron elementos importantes para la investigación tales como las principales dificultades que presentan las tecnologías para su implantación los cuales deben ser consideradas en el entorno ecuatoriano. De igual manera se identificaron las múltiples ventajas que ofrecen, así como las más significativas entre las que se destacan su simplicidad de

migración hacia tecnologías superiores, así como rentabilidad para medianas y grandes empresas. Se identificaron además las mejores prácticas recomendadas por la normativa ITU-T G.984.x lo cual garantiza un mayor éxito en su despliegue.

El desarrollo actual exige mayores demandas a nivel de país por lo que es imprescindible la migración a tecnologías validadas a nivel internacional como lo son MPLS y GPON.

5. CONCLUSIONES

A partir de la investigación desarrollada se determinó que existe posibilidades de implementación de las tecnologías MPLS y GPON en Ecuador a partir del estudio de su alcance tecnológico en una revisión sistemática de la literatura.

Luego de realizar una revisión de la literatura a partir de la metodología PRISMA, la cual facilita una revisión detallada de la temática cumpliendo el principal objetivo de la investigación. Se identificaron un total de 1669 trabajos relacionados con la temática en las diferentes bases de datos y finalmente siguiendo la metodología se analizaron a profundidad 29 trabajos los cuales evidenciaron la actualidad de ambas tecnologías y sus beneficios.

Se identificaron las principales características de cada una de las tecnologías relacionadas fundamentalmente con seguridad, costos de implementación, escalabilidad, velocidad de servicio entre otras. El estudio arrojó que ambas tecnologías ofrecen un grupo de ventajas asociadas a estas características, así como se identificaron los principales elementos para tener en cuenta siendo esencial los costos de implementación. Se tuvo en cuenta además la normativa ITU G.984.x.

A partir del estudio de trabajos relacionados se contrastaron los resultados previos los cuales permitieron identificar un grupo de recomendaciones técnicas mediante la normativa ITU-T G.984.x las cuales facilitan la implantación de ambas tecnologías en Ecuador. Los resultados arrojaron que ambas tecnologías tienen múltiples beneficios a nivel mundial los cuales también se evidencian en el país Ecuador para el desarrollo social del mismo, así como su desarrollo económico.

REFERENCIAS

- Ab-Rahman, M. S., Ng, B. C., Premadi, A., & Jumari, K. (2009). Transmission surveillance and self-restoration against fibre fault for time division multiplexing using passive optical network. *IET Communications*, 3(12), 1896–1906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/iet-com.2009.0017>
- Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., & Aleya, A. (2021). Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON. *Array*, 10(July 2020), 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- Ayala Carabajo, R., & Llerena Izquierdo, J. (2014). *Primer Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. Memoria Académica*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9506>
- Bahnasse, A., Talea, M., Badri, A., & Louhab, F. E. (2018). New smart platform for automating MPLS virtual private network simulation. *2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/COMMNET.2018.8360268>
- Cabezas-Chica, P. M., & Cabrera-Mejía, J. B. (2020). Diseño de una red pasiva GPON para el mejoramiento de los servicios de telecomunicaciones en el cantón Macaró. *Domino de Las Ciencias*, 6(3), 219–239. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1282>
- Campoverde Reyes, E. A. (2023). *Dispositivos inteligentes en seguridad industrial para la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales*.
- Chen, X., Hu, W., & Feng, D. (2022). Direct-sequence spread spectrum time division multiple access with direct detection for latency optimized passive optical network. *Optics Communications*, 510, 127955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.optcom.2022.127955>
- Chenji, H., Zhang, W., Won, M., Stoleru, R., & Arnett, C. (2012). A wireless system for reducing response time in Urban Search & Rescue. *2012 IEEE 31st International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC)*, 215–224. <https://doi.org/10.1109/PCCC.2012.6407756>
- Danty, W., Paucar, R., Paucar, C. R., Cynthia, D., & Pino, D. (2022). *Mpls Technology in Quality of Service of the Wan Network At the National University of*. 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.602>
- Echraibi, A., Flocon-Cholet, J., Gosselin, S., & Vatou, S. (2021). Deep Infinite Mixture Models for Fault Discovery in GPON-FTTH Networks. *IEEE Access*, 9, 90488–90499. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091328>
- Gruber, H., & Koutroumpis, P. (2013). Competition enhancing regulation and diffusion of innovation: the case of broadband networks. *Journal of Regulatory Economics*, 43, 168–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11149-012-9205-4>
- Haddaji, N., Nguyen, K., & Cheriet, M. (2018). Towards end-to-end integrated optical packet network: Empirical analysis. *Optical Switching and Networking*, 27, 18–39. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2017.06.003>
- Ismail, N., Zaki, E. A., & Arghifary, M. (2017). Interoperability and Reliability of Multiplatform MPLS VPN: Comparison of Traffic Engineering with RSVP-TE Protocol and LDP Protocol. *CommIT (Communication and Information Technology) Journal*, 11(2), 57–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.21512/commit.v11i2.2105>
- Karakus, M., & Duresi, A. (2019). An economic framework for analysis of network architectures: SDN and MPLS cases. *Journal of Network and Computer Applications*, 136, 132–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.02.032>
- Kulkarni, S., & El-Sayed, M. (2010). FTTH-based broadband access technologies: Key parameters for cost optimized network planning. *Bell Labs Technical Journal*, 14(4), 297–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bltj.20417>
- Llerena, J., Méndez, A., & Sánchez, F. (2019). Analysis of the Factors that Condition the Implementation of a Backhaul Transport Network in a Wireless ISP in an Unlicensed 5 GHz Band, in the Los Tubos Sector of the Durán Canton. *2019 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 15–22. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS49368.2019.00012>

- Lu, H., Zhang, Y., Li, Y., Jiang, C., & Abbas, H. (2020). User-oriented virtual mobile network resource management for vehicle communications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(6), 3521–3532. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2991766>
- Maestre Góngora, G. P. (2015). *Literature review on smart cities: An ICT-centered perspective*. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.531>
- María, A. O., Yacelga-Pinto, M., & Arévalo, G. V. (2018). Experimental evaluation of a NG-PON2 network. *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 1–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ETCM.2018.8580339>
- Mehraban, S., Vora, K. B., & Upadhyay, D. (2018). Deploy multi protocol label switching (mpls) using virtual routing and forwarding (vrf). *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 543–548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553949>
- Mejía-Rendón, Y.-T., Carlier-Salcedo, A.-Y., Vargas-Martínez, C.-M., Lopez-Posada, K.-J., & Fuentes-Bermúdez, G.-P. (2020). Evaluación de la calidad de los servicios de cuidados paliativos domiciliarios: revisión de la literatura. *Revista Colombiana de Enfermería*, 19(3), e025–e025. <https://doi.org/https://doi.org/10.18270/rce.v19i3.3045>
- Naeem, A. (2019). Techno-economic planning with different topologies of Fiber to the Home access networks with Gigabit Passive Optical Network technologies. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 14(4), 595–612. <https://doi.org/10.26782/jmcms.2019.08.00049>
- Porwal, M. K., Yadav, A., & Charhate, S. V. (2008). Traffic Analysis of MPLS and Non MPLS Network including MPLS Signaling Protocols and Traffic distribution in OSPF and MPLS. *2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 187–192.
- Salazar-Chacón, G. D., & García, A. R. R. (2021). Segment-Routing Analysis: Proof-of-Concept Emulation in IPv4 and IPv6 Service Provider Infrastructures. *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422559>
- Santacruz Zárate, L. Y. (2023). *Sistema de comunicación para la gestión y control de la seguridad electrónica dentro de una vivienda por medio de registros de eventos mediante Raspberry Pi*.
- Selmanovic, F., & Skaljo, E. (2010). GPON in telecommunication network. *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 1012–1016. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICUMT.2010.5676500>
- Sllame, A. M. (2022). Performance Evaluation of Multimedia over MPLS VPN and IPSec Networks. *2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 32–37.
- Tamanna, T., & Fatema, T. (2017). MPLS VPN over mGRE design and implementation for a service provider's network using GNS3 simulator. *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2339–2342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2017.8300178>
- Ulloa, D., Arévalo, G., & Gaudino, R. (2020). Optimal deployment of next-generation PON for high and ultra-high bandwidth demand scenarios in large urban areas. *2020 22nd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICTON51198.2020.9203528>
- Villalba, V. P., López, K. C. P., & Mateus, J. J. R. (2022). Sistemas de radio sobre fibra y redes 5G: perspectiva y aplicaciones. *Ingeniare*, 33, 73–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9732>
- Wu, W., Yan, T., Cao, W., & Li, H. (2022). Research on the application of cross-domain VPN technology based on MPLS BGP. *2022 6th International Conference on Wireless Communications and Applications (ICWCAPP)*, 151–155.