**Universidad de Las Américas**

**Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas**

**Ingeniería en Telecomunicaciones**

***Implementación de un simulador de redes ópticas basado en software libre y desarrollo de guías para el laboratorio de Telecomunicaciones UDLA.***

**Carlos Andrés Proaño Altamirano**

***2024***

**Quito, Ecuador**

Contenido

[Resumen 1](#_Toc122600817)

[Abstract 2](#_Toc122600818)

[1. Introducción 3](#_Toc122600819)

[**1.1.** **Identificación y descripción del problema o necesidad** 3](#_Toc122600820)

[**1.2.** **Descripción de la organización** 4](#_Toc122600821)

[**1.3.** **Impacto del proyecto en la sociedad** 5](#_Toc122600822)

[2. Análisis de posibles soluciones 6](#_Toc122600823)

[3. Objetivos 9](#_Toc122600824)

[**3.1.** **Objetivo General** 9](#_Toc122600825)

[**3.2.** **Objetivos Específicos** 10](#_Toc122600826)

[4. Alcance 10](#_Toc122600827)

[4.1. Alcance de la solución seleccionada 10](#_Toc122600828)

[4.2. Limitaciones y restricciones del proyecto 12](#_Toc122600829)

[5. Planificación y costos del proyecto 14](#_Toc122600830)

[6. Descripción de estudios realizados 16](#_Toc122600831)

[7. Desarrollo del proyecto 17](#_Toc122600832)

[**7.1.** **Diseño de la solución** 17](#_Toc122600833)

[**7.2.** **Desarrollo de la solución** 17](#_Toc122600834)

[**7.3.** **Pruebas y evaluación de la solución** 17](#_Toc122600835)

[**7.4.** **Resultados y Discusión.** 17](#_Toc122600836)

[**7.5.** **Implicaciones éticas** 18](#_Toc122600837)

[8. Conclusiones y Recomendaciones 18](#_Toc122600838)

[9. Trabajo futuro 18](#_Toc122600839)

[10. Referencias bibliográficas 18](#_Toc122600840)

[11. Anexos 19](#_Toc122600841)

Resumen

[Esta sección incluye una síntesis del trabajo, su extensión no deberá ser mayor a 350 palabras. Deberá dar una idea completa del trabajo, resaltando solo lo esencial: objetivos, métodos, resultados y conclusiones. También se debe colocar al final las palabras clave.]

Abstract

[Esta sección incluye el resumen en idioma inglés.]

# Introducción

## **Identificación y descripción del problema o necesidad**

Una alternativa para la comprobación de los conceptos teóricos, desarrollo e implementación de sistemas y subsistemas ópticos son los simuladores después de los dispositivos e implementos físicos, mismos que por su alto costo de despliegue pueden resultar prohibitivos en una fase inicial. Así pues, una primera alternativa inclusiva y de relación costo-beneficio adecuado es el empleo de simuladores en donde se pueden configurar, diseñar, estudiar e implementar los sistemas ópticos a través de software.

La falta de herramientas adecuadas limita la capacidad de los estudiantes para realizar simulaciones de redes ópticas. Esto afecta negativamente el aprendizaje en el campo de las telecomunicaciones. Los simuladores de redes ópticas pueden ayudar a la optimización del rendimiento de la red mediante el ajuste de parámetros como la potencia de transmisión, la dispersión y la atenuación de la señal. A través de los simuladores también es posible el diseño y planificación de redes, lo cual permite la optimización de la disposición de los nodos y las rutas de transmisión para maximizar la eficiencia y minimizar los costos, entre otras funciones de dichos simuladores.

Algunas de las tecnologías que pueden hacer lo antes mencionado son: OPNET, el cual es un simulador de pago que se utiliza principalmente para modelar y simular sistemas de comunicación.” Permite crear y simular diferentes topologías de red. El conjunto de protocolos/dispositivos es fijo: no se pueden crear nuevos protocolos ni modificar el comportamiento de los existentes” (2023). Otra alternativa es. -OptSim, el cual es un software de pago que se utiliza para simulación de sistemas complejos, diseño de redes, análisis de desempeño, entre otras funcionalidades.

Sin embargo, estos programas anteriormente mencionados son de pagos y sus versiones gratuitas son muy limitadas, reduciendo así el alcance de las simulaciones y experimentaciones que los estudiantes pueden ejecutar en dichas plataformas. Adicionalmente, la instalación y configuración de las herramientas existentes son complejas, lo que desmotiva su uso si no se cuenta con conocimientos previos. Asimismo, la necesidad de medios educativos actualizados y prácticos, con los materiales educativos actuales pueden no estar totalmente alineados con las últimas tecnologías y prácticas del tema.

Los efectos que puede ocasionar lo antes indicado es la limitación en la formación práctica de los estudiantes, al no tener acceso a herramientas experimentales, los estudiantes no pueden emplear los conocimientos teóricos adquiridos. Otro efecto de no contar con herramientas de simulación adecuadas es la dificultad para llevar a cabo investigaciones en el campo de las redes ópticas que contribuyan a solventar las problemáticas actuales y a los avances científicos.

Con lo mencionado anteriormente surge la necesidad de implementar un simulador óptico basado en software libre para fines educativos, donde los estudiantes puedan desarrollar sus conocimientos de manera práctica y no solo de manera teórica. Según Freire (2024):

*“En términos generales, la teoría proporciona el marco conceptual y la base de conocimiento necesaria para entender un tema en profundidad, mientras que la práctica permite poner en acción esos conceptos teóricos y comprobar su validez en la realidad. Ambas dimensiones son complementarias y se retroalimentan mutuamente”.*

## **Descripción de la organización**

El presente proyecto se lo llevará a cabo en colaboración con el grupo de investigación de la carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones de la Universidad de las Américas, en los laboratorios de Radiofrecuencia y en los de redes ópticas.

El laboratorio se encuentra equipado con distintos instrumentos como: localizador de fallas local (VFL), microscopio óptico, osciloscopio óptico, fusionadoras, power meter, cables de fibra óptica con distintos conectores, tester de fibra óptica, entre otros implementos.

La Universidad de Las Américas es una entidad destacada por su compromiso con el desarrollo de proyectos que tienen un alto impacto en la formación académica y en el crecimiento institucional. El grupo tiene la responsabilidad de realizar investigaciones innovadoras y relevantes que no solo contribuyen al avance del conocimiento, sino que también refuerzan la calidad educativa de la universidad.

La experiencia y el conocimiento acumulados por este grupo de investigación son fundamentales para el éxito del proyecto. Su extenso historial de investigaciones previas y su continuo desarrollo en el ámbito profesional los posicionan como un aliado estratégico.

Esto no solo asegura que el proyecto se beneficiará de una supervisión técnica altamente especializada, sino que también permitirá que, en caso de surgir cualquier inconveniente, las soluciones se implementen de manera ágil y efectiva. Además, su enfoque en la resolución de problemas garantizará que el proyecto avance de manera eficiente, manteniendo altos estándares de calidad y optimización en todos sus procesos.

## **Impacto del proyecto en la sociedad**

El desarrollo del proyecto pretende cubrir diversos medios como:

Al ser un software libre, estaría disponible para todos los estudiantes y profesores sin costo alguno. Esto facilitaría el acceso a herramientas avanzadas de simulación y planificación de redes ópticas, promoviendo una educación más inclusiva y equitativa. Sin olvidar que, al ser un proyecto de código abierto, permitiría la colaboración en conjunto entre diferentes universidades y centros de investigación. Los estudiantes y profesores podrían contribuir al desarrollo del software, compartiendo mejoras y nuevas funcionalidades.

En otro aspecto se puede reducir costos debido a utilizar un software libre, la universidad puede ahorrar en licencias en simuladores de redes ópticas, y en su lugar los recursos económicos pueden ser destinados para otros fines relacionados a la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Al optimizar el diseño y la planificación de redes ópticas, se puede reducir la necesidad de hardware adicional, lo que disminuye la generación de residuos, sin olvidar que al ser un software libre fomenta la optimización y reutilización de código, lo que puede reducir la necesidad de desarrollarlo desde cero, lo que contribuye a disminuir la huella de carbono. LA NACION (2021) afirma *“Para ejecutar un programa, una aplicación o una app se requiere energía eléctrica. Por lo tanto, la forma en la que se escribe el código puede impactar en el cambio climático. Los desarrolladores enrolados en esta tendencia tratan de utilizar la menor cantidad de líneas de código (más sobre esto enseguida), aunque sin alterar la experiencia del usuario”.*

El empleo de simuladores en la educación conlleva varias consideraciones éticas. Primero, es importante informar a los usuarios para que comprendan los objetivos y posibles riesgos asociados. Además, el diseño del simulador debe enfocarse en maximizar los beneficios educativos y minimizar errores. Es fundamental asegurar que todos los usuarios tengan las mismas oportunidades de aprendizaje y que los escenarios de simulación sean justos y estandarizados.

Estos principios son esenciales para crear un entorno de aprendizaje seguro y efectivo, fomentando el desarrollo de habilidades críticas sin comprometer la ética. Además, el uso de simuladores puede promover la reflexión sobre las decisiones éticas en el diseño e implementación de redes ópticas, preparando a los estudiantes para enfrentar dilemas éticos en su futura carrera profesional.

# Análisis de posibles soluciones

**2.1. Identificación y selección de la mejor solución**

En términos generales, la implementación de simuladores de redes ópticas es importante para la educación y la investigación en telecomunicaciones. Estos simuladores permiten a los estudiantes diseñar, analizar y optimizar redes ópticas sin incurrir en los altos costos de los equipos físicos. Para satisfacer la necesidad de un simulador de redes ópticas en la universidad, se han considerado tres posibles soluciones: la implementación de un simulador basado en GNPy (Python), el uso de simuladores comerciales con licencias educativas, y el desarrollo de un simulador propio desde cero.

**Implementación de un simulador basado en GNPy (Python)**

Esta opción consiste en un simulador de redes ópticas basado en GNPy, es una herramienta de código abierto en Python desarrollada por la comunidad, su función es la planificación y optimización de rutas de redes ópticas, el cual está basado en el modelo de ruido gaussiano. GNPy menciona:

*“Este programa funciona en una topología de red (formato JSON o Excel), procesando la lista de solicitudes de servicio (JSON o XLS nuevamente). Las solicitudes de servicio y los formatos de respuesta se basan en el draft-ietf-teas-yang-path-computation-01 con extensiones personalizadas.”*

**Implementación de simuladores comerciales con licencias educativas**

 Esta opción consiste en adquirir licencias educativas para simuladores comerciales como OptSim o OPNET. Estos simuladores están diseñados para proporcionar una experiencia completa y profesional en la simulación de redes ópticas, con interfaces gráficas intuitivas y una amplia opción de herramientas y capacidades. Las licencias educativas suelen ofrecer descuentos significativos en comparación con las licencias comerciales estándar, pero aún pueden representar un costo considerable.

**Implementación y desarrollo de un simulador propio desde cero**

 Esta solución implica desarrollar un simulador de redes ópticas completamente nuevo, adaptado a las necesidades requeridas de la universidad. El desarrollo de un simulador propio requiere la formación de un equipo de desarrollo con experiencia en simulación de redes ópticas y programación, así como la inversión de tiempo y recursos significativos. El simulador sería diseñado y construido internamente, lo que permitiría un control total sobre el diseño y las funcionalidades.

**Análisis FODA**

**Selección de Solución**

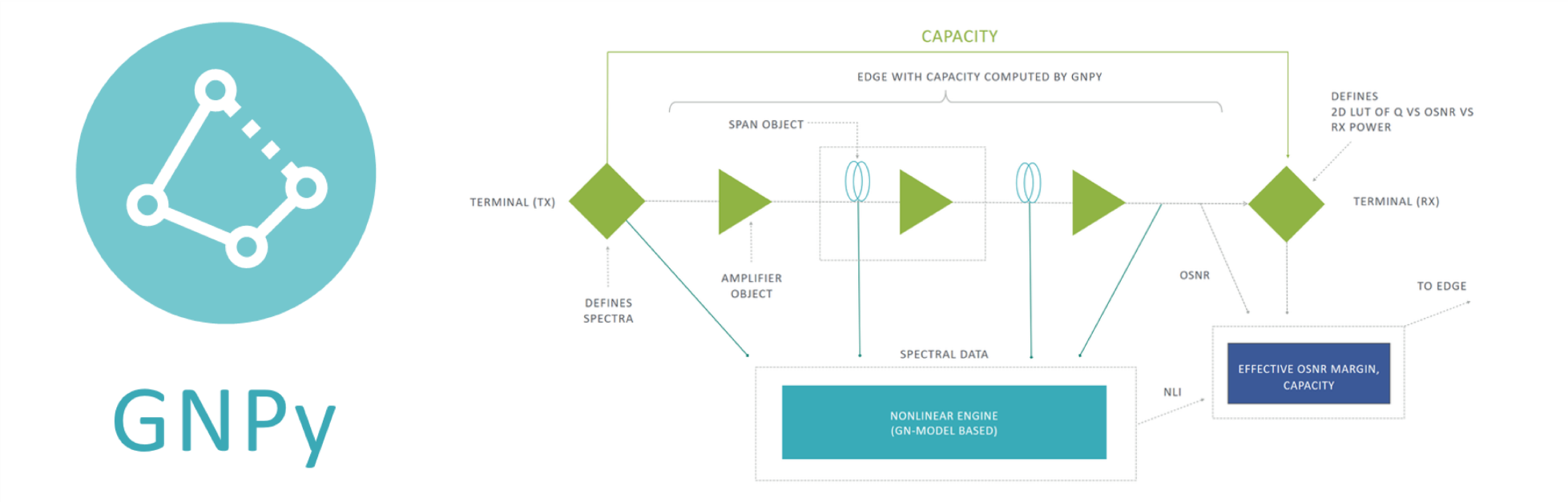
Después del análisis FODA, la solución más viable es la implementación de un simulador basado en GNPy (Python), ya que ofrece un equilibrio entre costo, flexibilidad y capacidad de personalización, además de fomentar la colaboración y el desarrollo en habilidades de programación.

**Justificación de porque no se eligió las otras soluciones**

El uso de simuladores comerciales con licencias educativas, aunque ofrecen funcionalidades avanzadas, los costos elevados y la dependencia de proveedores externos son desventajas significativas. Además, la flexibilidad y personalización son limitadas en comparación con una solución de código abierto.

Mientras que desarrollo de un simulador propio desde cero, no se escogió por el alto costo y tiempo de desarrollo, junto con la necesidad de un equipo especializado, hacen que esta opción sea menos viable en comparación con la implementación de un simulador basado en GNPy. Además, los riesgos asociados con retrasos y sobrecostos son considerables.

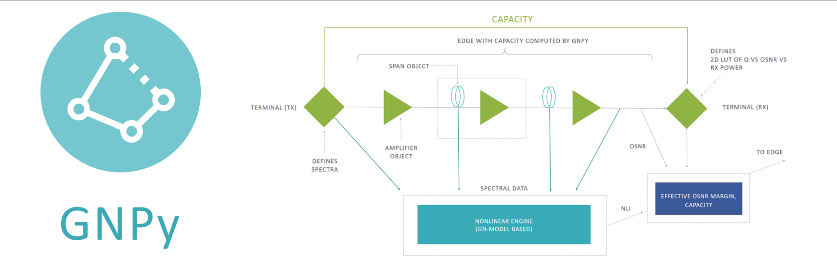
**Diagrama de Bloques**



Descripción de la red y condiciones de funcionamiento

Análisis de resultados

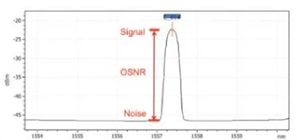
1



4

3

2



Análisis del código y depuración

Modelamiento del sistema a través de GNPy

# Objetivos

## **Objetivo General**

* Implementar casos de estudio en un simulador de redes ópticas basado en software libre y desarrollo de guías prácticas para el laboratorio de Telecomunicaciones UDLA.

## **Objetivos Específicos**

* Estudiar los escenarios de redes ópticas relevantes para el proceso de enseñanza-aprendizaje y que puedan ser implementados en el simulador GNPy de redes ópticas basado en software libre.
* Conocer la programación, librerías e interacción con las diversas estructuras de datos de los elementos de red disponibles en la herramienta GNPy basada en software libre.
* Implementar diferentes casos de estudio de redes ópticas en el simulador GNPy que permita la configuración, diseño, estudio, parametrización y ejecución de sistemas de transmisión ópticos a través de software libre.
* Desarrollar guías prácticas de laboratorio que sean didácticas y apoyen el proceso de enseñanza-aprendizaje de la materia de Comunicaciones Ópticas de la carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones de la UDLA.

# Alcance

# Alcance de la solución seleccionada

Para el desarrollo de este proyecto, se realizará un análisis detallado de las necesidades relacionadas con la simulación y optimización de enlaces de comunicación.

El propósito principal es implementar escenarios de redes ópticas en el simulador óptico GNPy, que permita evaluar el desempeño de rutas ópticas, analizar la calidad de la señal y calcular márgenes operativos.

**Diagrama de bloques**

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Diagrama de Flujo**

El siguiente diagrama de flujo describe el proceso que se seguirá para implementar un simulador de redes ópticas basado en software libre y desarrollar guías prácticas para el laboratorio de Telecomunicaciones UDLA.

Finalización

Desarrollo

Inicio

# 4.2. Limitaciones y restricciones del proyecto

**Limitaciones:**

* No se garantiza la compatibilidad de todas las funcionalidades tras realizar actualizaciones de la herramienta, ya que al ser de código abierto pueden surgir incompatibilidades con nuevas versiones.
* El simulador no incluirá simulación de hardware físico ni pruebas en redes ópticas reales, solo entornos virtuales.
* No se asegura una integración completa con otras herramientas externas debido a posibles diferencias en los modelos utilizados, como el manejo de ruido no compatible con el enfoque de ruido gaussiano de GNPy.
* No se contará con soporte técnico formal, ya que la resolución de errores dependerá exclusivamente de la comunidad de usuarios y desarrolladores de GNPy.

**Restricciones:**

* Se utilizará GNPy como herramienta base, limitando el simulador a las capacidades y algoritmos que esta biblioteca ofrece.
* El software estará diseñado para ser ejecutado en sistemas operativos compatibles con Python 3.x y bibliotecas de código abierto.
* Los cálculos de margen óptico y calidad de señal estarán basados en datos de bibliotecas estándar, sin integración con datos empíricos o mediciones externas.

**Matriz de riesgo del proyecto Capstone:**

La matriz de probabilidad impacto es una herramienta utilizada en la gestión de riesgos para evaluar y priorizar los riesgos de un proyecto. En este caso se utilizó un mapa de calor, el cual es una herramienta visual que utiliza colores para representar valores o niveles de datos dentro de una matriz. Los colores, que va de frío (bajo) a cálido (alto), permiten identificar patrones.

- Probabilidad (p): La probabilidad de que un riesgo ocurra.

- Impacto (i): La magnitud del efecto que tendría el riesgo si ocurriera.

- Para su constante monitoreo se deberán determinar la posición del riesgo en el mapa de calor (p, i).

- El riesgo (p\*i) esta codificado por colores, ya sea verde, amarillo o rojo. Se clasifica según el valor del riesgo p\*i.

- Bajo (1-6): Verde.

- Medio (7-12): Amarillo.

- Alto (13-25): Rojo.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Insignificante | Menor | Moderado | Importante | Catastrófico |
|  | | Impacto | | | | |
| Muy probable | Probabilidad | Medio | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Probable | Bajo | Medio | Medio | Alto | Alto |
| Posible | Bajo | Medio | Medio | Alto | Alto |
| No es probable | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Muy Improbable | Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Medio |

A continuación, se pueden evidenciar los posibles riesgos en el proyecto Capstone:

* Soporte

- Probabilidad: 3

- Impacto: 3

- Descripción: Como es una herramienta de código abierto, el soporte puede depender solo de la comunidad de usuarios de esta, dificultando arreglar errores que surjan.

* Actualizaciones y Mantenimiento

- Probabilidad: 2

- Impacto: 4

- Descripción: Al ser una herramienta de código abierto puede que al

intentar actualizar pueda surgir incompatibilidades como que dejen de funcionar ciertas herramientas.

* Interoperabilidad

- Probabilidad: 2

- Impacto:2

- Descripción: Al momento de integrar GNPy con otras herramientas pueden surgir problemas debido

que algunas herramientas trabajen con diferentes modelos. (ruido gaussiano)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Insignificante | Menor | Moderado | Importante | Catastrófico |
|  | | Impacto | | | | |
| Muy probable | Probabilidad |  |  |  |  |  |
| Probable |  |  |  |  |  |
| Posible |  |  | Soporte |  |  |
| No es probable |  | Interoperabilidad |  | Actualización y Mantenimiento |  |
| Muy Improbable |  |  |  |  |  |

# Planificación y costos del proyecto

La planificación del proyecto de “implementación de un simulador de redes ópticas basado en software libre y desarrollo de guías para el laboratorio de Telecomunicaciones UDLA”, es esencial para garantizar el desarrollo de los objetivos propuestos de manera eficiente y en el tiempo previsto. Cada etapa tiene tareas específicas que se ordena cronológicamente para facilitar su seguimiento.

Recopilación de información

En esta etapa inicial, se enfoca en investigar y comprender las capacidades de GNPy, la documentación inicial y otras fuentes de aprendizaje. También se analiza casos de estudios relevantes y proyectos existentes que usen GNPy. Esta información es esencial para sustentar las bases del diseño del simulador.

Diseño base del simulador

En esta etapa se desarrolla un diseño creando una red inicial en GNPy, que servirá como base para las actividades del laboratorio UDLA. Se definen parámetros iniciales como potencia óptica, distancia entre nodos y módulos utilizados.

Como resultado de esta fase se desarrollará un manual detallado que explique cómo implementar el simulador, con instrucciones claras para replicar las configuraciones.

Guías de laboratorio

Se desarrollarán ejercicios prácticos que permitan a los estudiantes explorar las capacidades del simulador y aplicar conceptos teóricos. Se implementarán al menos tres escenarios de redes ópticas con distintos casos de estudio.

Documentación y cierre del proyecto

En esta etapa final se consolida toda la información técnica y administrativa generada durante el proyecto. Se organizan los manuales, configuraciones, guías de laboratorio y el informe final para su presentación y entrega. Se presenta a los stakeholders un resumen de los logros alcanzados, destacando la implementación exitosa del simulador y la creación de guías prácticas que combinan teoría y ejercicios aplicados.

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt con las fechas del proyecto.

Fecha inicial: 24 de marzo del 2025

Fecha final: 13 de julio del 2025

Imagen que contiene Tabla

Descripción generada automáticamente

Análisis del costo de la opción seleccionada:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ítem | Detalle | Total |
| Hardware | Computadora del laboratorio. | $ 0 |
| GNPy | Herramienta gratuita de simulación óptica. | $ 0 |
| Python | Lenguaje de programación, gratuito. | $ 0 |
| Bibliotecas Adicionales | Todas de código abierto. | $ 0 |
| Documentación | Impresión de documentos | $ 5 |
|  | | $ 5 |

# Descripción de estudios realizados

En los últimos años, las herramientas de simulación para redes ópticas han experimentado avances significativos, permitiendo un diseño y análisis más eficiente de este tipo de infraestructuras. Entre estas herramientas destaca GNPy, un software de código abierto que se ha convertido en una opción clave para modelar y optimizar redes ópticas. Este simulador utiliza el modelo de ruido gaussiano para analizar el rendimiento de enlaces ópticos y estimar parámetros importantes como la relación señal-ruido óptica y la tasa de error de bits. Gracias a estas capacidades, GNPy facilita el diseño de redes eficientes y la optimización de recursos, eliminando la necesidad de equipos físicos costosos. (Telecom Infra Project, 2020)

Un ejemplo de manera práctica se presenta en la demostración de un sistema automatizado para la provisión de rutas de extremo a extremo en redes ópticas desagregadas y multi-proveedor. Este sistema integra el simulador GNPy, que estima la calidad de transmisión (QoT), con el controlador de red SDN ONOS. El resultado fue que los usuarios puedan solicitar un servicio óptico, y ONOS calcule las rutas posibles basándose en los resultados de GNPy, esto demostró la viabilidad de integrar GNPy y ONOS para redes ópticas desagregadas. (Kundrát, 2020)

Otro avance es la validación experimental del estimador de calidad de transmisión (QoT-E) de GNPy en un entorno de redes ópticas flexibles y desagregadas, demostrando su precisión en un rango de configuraciones avanzadas. Los resultados fueron que GNPy mostró una precisión promedio con un error menor a 0.5 dB al predecir la GSNR, lo que confirma su fiabilidad, también se demostró que la gestión óptima de redes flex-grid se logra ajustando las densidades espectrales de potencia (PSD) en lugar de la potencia por canal tradicional. (D’Amico, 2022)

Además, GNPy ha promovido un modelo de desarrollo colaborativo, en el que la comunidad global de usuarios y desarrolladores contribuye constantemente a mejorar sus funcionalidades. Esto ha permitido integrar tecnologías modernas como amplificadores Raman y sistemas de multiplexación por división de longitud de onda en simulaciones, proporcionando una herramienta versátil para evaluar el impacto de estas innovaciones en redes ópticas reales. Su diseño en Python también hace que sea fácil de personalizar y escalar, adaptándose a proyectos de diversa complejidad. (ITU-T, 2019)

Otro aspecto destacado es su utilidad en la educación. GNPy se ha utilizado en universidades y centros de formación para enseñar conceptos avanzados de redes ópticas. Los estudiantes pueden realizar simulaciones detalladas y explorar fenómenos como los efectos no lineales y el diseño de topologías ópticas. Esto ha hecho que el aprendizaje sea más práctico y accesible, especialmente porque, al ser un software de código abierto, reduce las barreras económicas. De esta manera, GNPy no solo contribuye al desarrollo técnico de las redes ópticas, sino también a la formación de futuros profesionales en el área. (Ferrari et al., 2020)

Finalmente, el uso de simuladores como GNPy representa un cambio importante hacia plataformas definidas por software. Esto elimina la dependencia del hardware físico y ofrece flexibilidad para adaptarse rápidamente a las necesidades cambiantes del diseño de redes. Así, herramientas como esta se han convertido en aliadas clave para mejorar la eficiencia y reducir costos en la planificación y operación de redes ópticas modernas. (Ramaswami et al., 2020)

# Desarrollo del proyecto

## **Diseño de la solución**

[Esta sección incluye el planteamiento de la solución, la metodología (INDICTIVA/DEDUCTIVA, EXPLORATORIA, EXPERIMENTAL) que se utilizará, la solución debe ser creativa e innovadora, se puede usar modelos arquitectónicos. Estudio del arte.]

## **Desarrollo de la solución**

[Esta sección incluye la aplicación del diseño de ingeniería para el desarrollo del prototipo, aplicación, producto, etc. Incluir aplicación de buenas prácticas, estándares, protocolos, códigos de ingeniería, restricciones de diseño, entre otros.]

## **Pruebas y evaluación de la solución**

[Esta sección incluye las pruebas a las que se sometió la solución, los resultados obtenidos y las mejoras en cada iteración. Debe ser un proceso iterativo y de mejora continua.]

## **Resultados y Discusión**

[En esta sección incluir un análisis de los resultados alcanzados con el aplicativo y validado con los diferentes actores del proyecto capstone]

## **Implicaciones éticas**

[Esta sección incluye los temas éticos que se consideran en la solución y las implicaciones a las que se puede enfrentar el desarrollo y ejecución del proyecto.]

# Conclusiones y Recomendaciones

[Esta sección incluye las conclusiones que se derivan de los objetivos planteados, además, las recomendaciones que se pueden desprender al final de la ejecución del proyecto.]

# Trabajo futuro

[Esta sección incluye los posibles proyectos que se pueden generar a partir de los resultados de este.]

# Referencias bibliográficas

[En esta sección se listan todos los libros, artículos, revistas, fuentes de la Internet, etc. Que han sido utilizados y citados dentro del trabajo. El formato único de citación y listado de las referencias del estilo APA (3.ª edición en español de la 6.ª en inglés). Este estilo deberá ser utilizado de manera consistente a lo largo de todo el texto.]

- Cadella. (2024, 8 julio). *Qué es la teoría y la práctica*. Cadella - Escuela de Educación Viva y Activa. https://cadella.es/que-es-la-teoria-y-la-practica/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20generales%2C%20la%20teor%C3%ADa%20proporciona%20el%20marco,te%C3%B3ricos%20y%20comprobar%20su%20validez%20en%20la%20realidad.

-*OPNET Network Simulator - OpNet Projects*. (2023, 26 octubre). Opnet Projects. https://opnetprojects.com/opnet-network-simulator/

- Slotnisky, D. (2021b, febrero 24). Programación verde: software para reducir el impacto ambiental. *LA NACION*. https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/programacion-verde-software-para-reducir-el-impacto-ambiental-nid30012021/#:~:text=Para%20ejecutar%20un%20programa%2C%20una%20aplicaci%C3%B3n%20o%20una,movimiento%20que%20busca%20disminuir%20esa%20huella%20de%20carbono.

- *GNPy: Optical Route Planning Library — gnpy  documentation*. (s. f.). https://gnpy.readthedocs.io/en/master/

- Burns, B. (2016). *Designing Distributed Systems: Patterns and Paradigms for Scalable, Reliable Services*. O'Reilly Media. Designing Distributed Systems

- ITU-T. (2019). *G.709: Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*. International Telecommunication Union. G.709 : Interfaces for the optical transport network

- A. Ferrari *et al*., "GNPy: an open source planning tool for open optical networks," *2020 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, Barcelona, Spain, 2020, pp. 1-6, doi: 10.23919/ONDM48393.2020.9133027.  
keywords: {Optical fiber networks;Physical layer;Throughput;Routing;Topology;Telecommunications;Planning;Open source;Open Optical Networks;WDM data transport},

- Telecom Infra Project. (2020). *GNPy: Overview and Documentation*. Recuperado de https://github.com/Telecominfraproject/gnpy.

-Kundrát, J., Campanella, A., Le Rouzic, E., Ferrari, A., Havliš, O., Hažlinský, M., ... & Curri, V. (2020, March). Physical-layer awareness: GNPy and ONOS for end-to-end circuits in disaggregated networks. In *2020 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)* (pp. 1-3). IEEE.

- D’Amico, A., London, E., Le Guyader, B., Frank, F., Le Rouzic, E., Pincemin, E., ... & Curri, V. (2022). Experimental validation of GNPy in a multi-vendor flex-grid flex-rate WDM optical transport scenario. *Journal of Optical Communications and Networking*, *14*(3), 79-88.

# Anexos

[En esta sección se incluye el detalle de lo que estime no indispensable para la comprensión del tema central, pero que lo complementa. También se debe incluir todos los documentos generados por la metodología usada en el desarrollo de la solución del problema. Ejemplos: Diagramas, Detalles de desarrollos de fórmulas, de experimentos realizados, tablas de estadísticas, gráficos, copia de documentos, leyes o reglamentos que no pueden ser parafraseados, etc. Los anexos se designarán en forma secuencial numérica (Anexo 1, Anexo 2, etc.).]