



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
Abstract	2
1. Introducción	3
1.1. Identificación y descripción del problema o necesidad	3
1.2. Descripción de la organización	43
1.3. Impacto del proyecto en la sociedad	53
2. Análisis de posibles soluciones.....	63
3. Objetivos	93
3.1. Objetivo General	93
3.2. Objetivos Específicos	103
4. Alcance.....	103
4.1. Alcance de la solución seleccionada.....	104
4.2. Limitaciones y restricciones del proyecto	124
5. Planificación y costos del proyecto.....	144
6. Descripción de estudios realizados	164
7. Desarrollo del proyecto.....	164
7.1. Diseño de la solución.....	164
7.2. Desarrollo de la solución	165
7.3. Pruebas y evaluación de la solución	165
7.4. Resultados y Discusión.....	165
7.5. Implicaciones éticas	175
8. Conclusiones y Recomendaciones.....	175
9. Trabajo futuro.....	175
10. Referencias bibliográficas	175
11. Anexos	186



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.]



1. Introducción

1.1. 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”.

1.2. 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.

1.3. 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.

2. 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.

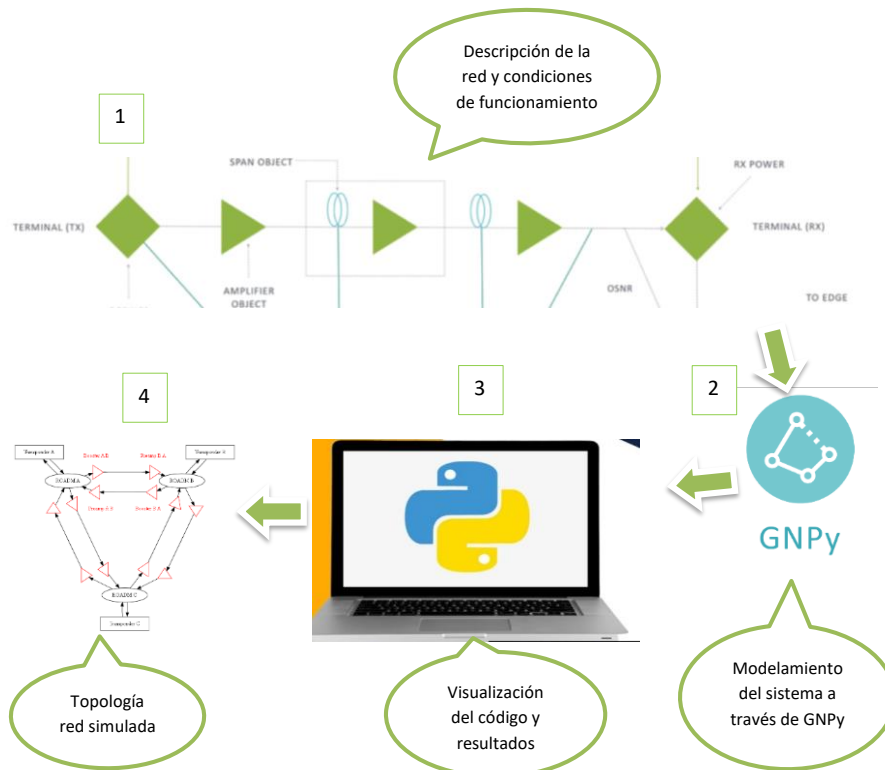
Justificación de porque no se eligió las otras soluciones

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



3. Objetivos

3.1. Objetivo General

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



3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar los escenarios de redes ópticas relevantes para el proceso de enseñanza-aprendizaje y que puedan ser implementados en un simulador de redes ópticas basado en software libre.
- Conocer la programación e interacción con las diversas estructuras de datos de los escenarios de red tipo que se deseen simular en la herramienta de software libre.
- Implementar un simulador óptico que permita la configuración, diseño, estudio 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.

4. Alcance

4.1. 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

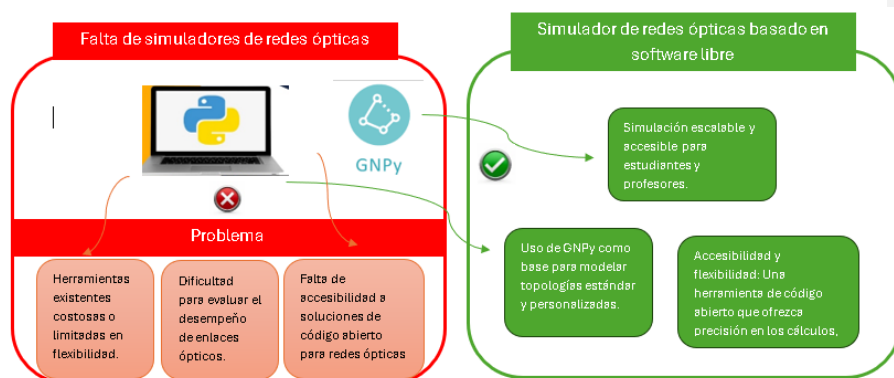
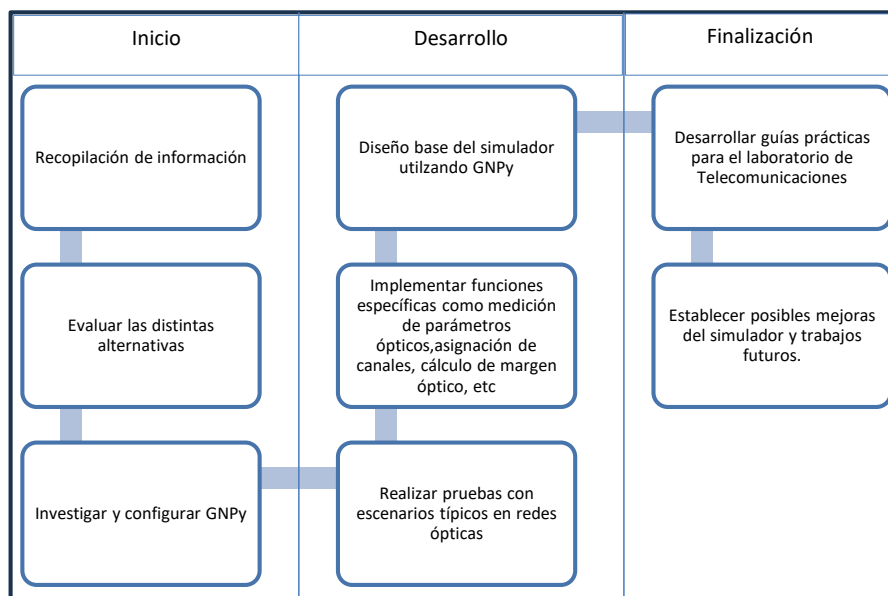


Diagrama de Flujo

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.





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				
Probabilidad	Muy probable	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 GNPpy con otras herramientas pueden surgir problemas debido que algunas herramientas trabajen con diferentes modelos. (ruido gaussiano)

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

5. 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 GNPpy, la documentación inicial y otras fuentes de aprendizaje. También se analiza casos de estudios relevantes y proyectos existentes que usen GNPpy, esta información es esencial para sustentar las bases del diseño del simulador.

Diseño base del simulador

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

Guías de laboratorio



Se redactará una guía detallada que explica como implementar el simulador, con instrucciones claras para replicar las configuraciones y también existirá ejercicios prácticos que permitan a los estudiantes explorar las capacidades del simulador y aplicar conceptos teóricos.


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

		UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES															
Tema:		Implementación de un simulador de redes ópticas basado en software libre y desarrollo de guías para el laboratorio de Telecomunicaciones UDLA.															
Proyecto Capstone		Ingeniería en Telecomunicaciones															
Integrantes:		Carlos Proaño		Carrera:													
Tareas para realizar / Duración		Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 5	Seman a 6	Seman a 7	Seman a 8	Seman a 9	Seman a 10	Seman a 11	Seman a 12	Seman a 13	Seman a 14	Seman a 15	Seman a 16
1) Investigación sobre GNP y su documentación.																	
2) Instalar entorno de desarrollo.																	
3) Crear red de prueba inicial en GNP.																	
4) Ajustar parámetros iniciales de simulación.																	
5) Validar simulaciones básicas.																	
6) Implementar red para las guías de laboratorio.																	
7) Analizar los resultados.																	
8) Desarrollo de guías de laboratorio.																	
9) Entrega del simulador, guías e informe.																	

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
		\$ 0

[Esta sección incluye: planificación del proyecto (ordenar sistemáticamente las tareas para lograr los objetivos x fases: recopilación de información, diseño, programación, implementación, pruebas y discusión de resultados. Se puede usar un diagrama de flujo), identificación de tareas, tiempo: diagrama de Gantt y el análisis de costos de la solución]

6. Descripción de estudios realizados

[Esta sección incluye investigación documental sobre los avances más importantes relacionados con el tema propuesto.] Referencias bibliográficas.

7. Desarrollo del proyecto

7.1. Diseño de la solución

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

7.2. 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.]

7.3. 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.]

7.4. 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]

7.5. 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.]

8. 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.]

9. Trabajo futuro

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

10. 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>

Con formato: Inglés (Estados Unidos)



%C3%B3n%20o%20una,movimiento%20que%20busca%20disminuir%20esa%20huella%20de%20carbono.

- GNPY: Optical Route Planning Library — gnp documentation. (s. f.).
<https://gnpy.readthedocs.io/en/master/>

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

11. 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.).]