

**Mecanismo de Asignación Dinámica de Rutas basado en Algoritmos Genéticos para una Red Óptica Definida por Software**

Anteproyecto de Trabajo de Grado



**Brayan Smith García  
Esteban Acosta Vivas**

Director: MSc. Catalina Muñoz Collazos

Universidad del Cauca  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**  
Departamento de Telecomunicaciones  
**Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT)**  
Popayán, marzo del 2020

## **TABLA DE CONTENIDO**

i		
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
2.	ESTADO DEL ARTE .....	3
3.	OBJETIVOS .....	8
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	8
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4.	APORTES .....	8
5.	ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA .....	8
	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	9
6.	RECURSOS, PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION .....	10
7.	CONDICIONES DE ENTREGA .....	11
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Cronograma de actividades .....	9
---	---

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de los documentos encontrados.....	6
Tabla 2. Presupuesto.....	10

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>5G-SDWBIN</b>	<i>Software- Defined Wireless Bacteria- Inspired Network</i> , Red Inspirada en Bacterias Inalámbricas Definida por Software 5G
<b>ACO</b>	<i>Ant Colony Optimization</i> , Optimización por Colonia de Hormigas.
<b>BIN</b>	<i>Bacteria-Inspired Network</i> , Red Inspirada en Bacterias
<b>CA</b>	<i>Cultural Algorithm</i> , Algoritmo Cultural
<b>EON</b>	<i>Elastic Optical Network</i> , Red Óptica Elástica
<b>GA</b>	<i>Genetic Algorithm</i> , Algoritmo Genético
<b>GAC</b>	<i>Genetic Ant Colony</i> , Algoritmo Genético de Colonia de Hormigas
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i> , Internet de las Cosas
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i> , Protocolo de Internet
<b>LAUC</b>	<i>Last Unplanned Channel Available</i> , Ultimo Canal no planificado Disponible
<b>MOGA</b>	<i>Multi-Objetive Genetic Algorithm</i> , Algoritmo Genético Multi-Objetivo
<b>NBI</b>	<i>NorthBound Interface</i> , Interfaz Limitada al Norte
<b>NSFNet</b>	<i>National Science Foundation's Network</i> , Red de la Fundación Nacional de Ciencias
<b>NSGA</b>	<i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm</i> , Algoritmo Genético de Clasificación No Dominado
<b>P-H-RSA</b>	<i>Physical-Layer-Impairment Heterogeneous RSA</i> Deterioro Heterogéneo de la Capa Física RSA
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i> , Calidad de Servicio
<b>RSA</b>	<i>Routing and Spectrum Assignment</i> , Enrutamiento y Asignación de Espectro
<b>RWA</b>	<i>Routing and Wavelength Assignment</i> , Enrutamiento y Asignación de Longitud de Onda
<b>SBI</b>	<i>SouthBound Interface</i> , Interfaz Limitada al Sur
<b>SDN</b>	<i>Software Defined Network</i> , Red Definida por Software
<b>SDON</b>	<i>Software Defined Optical Network</i> , Red Óptica Definida por Software
<b>SIRBRM</b>	<i>Service Importance Risk Balancing Routing Assignment Mechanism</i> , Mecanismo de Balanceo de Asignación De Ruta Basado en la Importancia Del Servicio
<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
<b>WSN</b>	<i>Wireless Sensor Network</i> , Redes de Sensores Inalámbricos



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tráfico sobre las redes ha aumentado exponencialmente en los últimos años, haciendo que las redes tradicionales no puedan afrontar los retos de eficiencia, calidad, escalabilidad y flexibilidad que los servicios y aplicaciones actuales requieren. Según el boletín trimestral de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Colombia [1], en el segundo trimestre del año 2012, se tenían 5.5 millones de suscripciones a internet banda ancha, frente a 31.0 millones de conexiones a internet banda ancha en el tercer trimestre del año 2018, esto representa un aumento de 25.5 millones de suscripciones en 6 años en Colombia a internet, causado por el aumento exponencial de los dispositivos móviles, la demanda de nuevos servicios y el uso de paquetes de datos, estos últimos relegando el uso de la telefonía fija.

La llegada de nuevos servicios en la nube, video bajo demanda, la virtualización de servidores, así como el aumento del tráfico sobre las redes han cambiado el patrón de tráfico sobre estas por lo que las redes tradicionales no son óptimas para operar con una adecuada Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*), optimizar la asignación de rutas de paquetes y suplir las necesidades de los usuarios finales. Las redes tradicionales son complejas y difíciles de administrar [2], debido a que para ejecutar lo que las capas superiores de la red desean, cada operador debe configurar cada red por separado usando comandos y programación de bajo nivel. Estas redes, en su mayoría basadas en Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*) funcionan bajo el modelo de integración vertical, lo que supone que los planos de control y de datos están agrupados en el dispositivo, reduciendo la flexibilidad, aumentando la complejidad en la configuración y estancando la innovación en la estructura de la red.

La Red Definida por Software (SDN, *Software Defined Network*), es una tecnología en desarrollo que separa el plano de datos del plano de control y presenta diferentes enfoques que permitirán solucionar los problemas de las redes actuales. Su arquitectura está compuesta por tres planos [3],[4],[5]; el plano de aplicación que por medio de una Interfaz Limitada al Norte (NBI, *NorthBound Interface*) comunica sus requerimientos y el comportamiento que desea de la red a la controladora SDN, el plano de control conformado por la controladora de SDN que recibe los requerimientos del plano de aplicación, los ejecuta sobre los dispositivos de la red por medio de la Interfaz Limitada al Sur (SBI, *South Bound Interface*) y tiene una visión completa y abstracta de ésta, y el plano de datos conformados por interruptores SDN, que reenvía los datos dentro de la red y consultan a la controladora constantemente.

Para poder satisfacer la demanda actual de los usuarios finales anteriormente mencionada los investigadores han experimentado con múltiples redes enfocadas



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

en SDN [3], es así como nace el concepto de Red Óptica Definida por Software (SDON, *Software Defined Optical Network*) donde la red de transporte es la fibra óptica, la cual presenta ventajas de alta capacidad, transmisión a largas distancias, bajo consumo energético y es la infraestructura más importante usada en el *backbone* de las redes [6]. Así como SDON es un claro avance en las redes de próxima generación, también presenta retos que deben ser abordados, el Enrutamiento y Asignación de Longitud de Onda (RWA, *Routing and Wavelength Assignment*), que implica encontrar la ruta entre el origen y el destino, con la longitud de onda adecuada y el Enrutamiento y la Asignación de Espectro (RSA, *Routing and Spectrum Assignment*) [6],[7],[8].

A la par del desarrollo de las redes se han implementado distintos algoritmos para el enrutamiento en la red como lo son el algoritmo Dijkstra [9], el mecanismo RPP para enrutamiento en redes inalámbricas [10] así como algoritmos heurísticos con restricciones de servicio [11], la gran mayoría se han optimizado para satisfacer los requerimientos de las redes sobre las cuales operan como es el caso de los algoritmos para las redes de datos [12] y el algoritmo FAFF-HCC [13] con el fin de solucionar el problema de encontrar una ruta y longitud de onda para cada enlace de la ruta en redes ópticas. Sin embargo, hay una rama de estudio que ha despertado gran interés en los investigadores, ha sido desplegada ampliamente en redes distribuidas y está siendo estudiada en redes centralizadas SDN y SDON [14], este es el caso de los algoritmos evolutivos, puntualmente los algoritmos genéticos que pueden realizar mejoras en la calidad y eficiencia del cálculo de las rutas, puesto que permiten calcular múltiples y competitivas soluciones en redes a gran escala [15].

De acuerdo a todo lo mencionado se propone realizar un mecanismo de asignación dinámico de rutas basado en un algoritmo genético para una red óptica definida por software ya que existen pocos trabajos que relacionen algoritmos genéticos y redes SDON. Por lo tanto, se formula la siguiente pregunta de investigación:

**¿Cuál es el desempeño de una red SDON al emplear un algoritmo genético en la asignación dinámica de rutas?**



## 2. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan trabajos de carácter nacional, internacional y local, relacionados con el problema de investigación:

En relación a una red SDN en [16], [17], [14], [18], [22], [23], [26] y [27] resaltan la importancia del control centralizado y las ventajas que supone para el enrutamiento tener una visión general de la red, es así que en particular en [18], [22] y [23], proponen un algoritmo genético para realizar el enrutamiento. En todos ellos se puede evidenciar las ventajas que presenta este algoritmo al implementarse sobre la red SDN centralizada, sin embargo, en [18] este algoritmo se propone para calcular múltiples rutas factibles con limitaciones de ancho de banda, usando el entorno de simulación *Mininet* donde se observó el alto tiempo de ejecución que toma el algoritmo para resolver dicho el problema; [22] y [23] presentan similitudes en el problema a resolver, pero en [22] el Algoritmo Genético Multi-objetivo (MOGA, *Multi-objective Genetic Algorithm*) propuesto se centra en resolver el problema de ordenar paquetes enrutados por múltiples flujos y en satisfacer múltiples objetivos por medio del pareto óptimo que los algoritmos lineales no podrían resolver, y en [23] además de proponer un Algoritmo Genético de Clasificación No Dominado (NSGA, *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*) que es multi-objetivo, también considera múltiples limitaciones de la red, todas estas enfocadas a satisfacer los requisitos de QoS. En general los resultados de [18], [22] y [23] muestran que los algoritmos genéticos propuestos pueden satisfacer los objetivos planteados, pero se deben seguir estudiando aspectos como el alto tiempo de ejecución que presentan dichos algoritmos.

En [16], [14] y [27] se propone un algoritmo genético híbrido que tiene como objetivo combinar las mejores características de los algoritmos involucrados y adaptarlas al enfoque propuesto en cada red. El algoritmo propuesto en [16] es una hibridación de un Algoritmo Genético (GA, *Genetic Algorithm*) con un Algoritmo Cultural (CA, *Cultural Algorithm*) que tiene como objetivo mejorar el balance de carga en la red y los tiempos de convergencia de ésta, mientras que [14] propone un Algoritmo Genético de Colonia de Hormigas mejorado (GAC, *Genetic Ant Colony*) mejorado para incrementarla precisión de la selección de la ruta y en consecuencia la eficiencia del enrutamiento; a diferencia de [16] y [14], [27] propone un algoritmo genético combinado con una Red Inspirada en Bacterias (BIN, *Bacteria-Inspired Network*) sobre una Red de Quinta Generación Inalámbrica Inspirada en Bacterias y Definida por Software (5G-SDWBIN, *Software-Defined Wireless Bacteria-Inspired Network*) para hacer frente a las limitaciones de las redes móvil tradicional con dispositivos del Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) y suplir requisitos de calidad en aplicaciones agrícolas. En [16] el algoritmo proporcionó una mejor distribución de carga y disminución en el periodo de saturación en la red debido a modificaciones en la operación de mutación del GA y en la función de influencia de



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

CA; en [14] el algoritmo mejoró la precisión de la selección para el mejor camino en comparación con los algoritmos tradicionales y en [27] los resultados numéricos obtenidos a partir del análisis de la arquitectura de red propuesta demostraron que se puede asegurar una QoS confiable y se pueden reducir los costos de la comunicación extremo a extremo. A nivel general, los algoritmos propuestos en [16], [14] y [27] aumentan la eficiencia del enrutamiento al combinar las características de los algoritmos genéticos con otro tipo de algoritmos como el CA y el algoritmo de Optimización por Colonia de Hormigas (ACO, *Ant Colony Optimization*) e incluso al implementarse sobre topologías de red como BIN; estas modificaciones proporcionan mejoras en procesos en los que el algoritmo genético no es muy fuerte como la calidad de la población inicial.

En [17] y [26] se propone un algoritmo de múltiples rutas disjuntas y un algoritmo Dijkstra y respectivamente, sobre una red SDN, en [17] el algoritmo de múltiples rutas disjuntas tiene como objetivo aprovechar al máximo los recursos de la red y así contribuir al equilibrio de carga y tolerancia de fallos, por lo que se compara con un algoritmo de ruta única. Los resultados muestran que cuando el número de nodos en la red aumentan, la covarianza del algoritmo multi-ruta es mucho menor comparada con el algoritmo de ruta única y por ende el balance de carga será menor en este último, cuando se tiene un número de nodos constante y aumentan las trasmisiones sobre la red, el algoritmo de única ruta presenta un mejor desempeño que el algoritmo de múltiples rutas. A diferencia de [17], en [26] el algoritmo Dijkstra de balance de carga es implementado para realizar un análisis comparativo en ancho de banda y retardos sobre dos tipos de controladores de red SDN, OpenDaylight vs Floodlight, de los resultados de simulación se obtuvo un mayor balance de carga en OpenDaylight aunque en tiempo de respuesta y consumo de recursos RAM fue excesivo y así mismo, Floodlight tuvo un mayor desempeño en el ancho de banda y en el rendimiento de la red, con y sin implementar el algoritmo de balance de carga diseñado. Los resultados de [17] y [26] se enfocaron en aumentar el balance de carga en la red SDN mediante los algoritmos propuestos, siendo un precedente para el trabajo a desarrollar el cual tiene un enfoque en una red de fibra óptica.

En cuanto al trabajo en SDON se encuentra que [19] y [25] usan un algoritmo de enrutamiento distinto al genético y tienen en común que consideran la importancia del servicio, factor de gran relevancia para garantizar la QoS sobre las redes. Sin embargo [19] propone un Algoritmo de Enrutamiento y Asignación Heterogénea de Capa Física Degenerada (P-H-RSA, *Physical-Layer-Impairment Heterogeneous RSA*) enfocado en resolver los problemas de degradación de la fibra óptica causada por la red subyacente, y [25] se enfoca netamente en un Mecanismo de balanceo de asignación de ruta basado en la importancia del servicio (SIRBRM, *Service Importance Risk Balancing Routing Assignment Mechanism*) que tiene como objetivo reducir las interrupciones en las fallas del servicio. El problema más visible



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

en [19] y [25] es el RSA que se presenta por la elasticidad de la fibra óptica produciendo fragmentación en el espectro, en estos se puede concluir que los algoritmos propuestos tienen una alta complejidad, aunque su solución es válida para las redes sobre las que se simula, los resultados demuestran que, ante una eventual escalabilidad de la red, sus algoritmos no funcionarían de manera eficiente. En [19] se disminuyó la probabilidad de bloqueo y el desperdicio de los recursos al tener en cuenta la degradación de la fibra óptica y la sub-topología para unificar dominios de red. De manera similar en [25] se logró reducir la sobre concentración de tráfico y el riesgo de fallo general de la red. Los resultados de [19] y [25] muestran la eficiencia de los algoritmos propuestos para generar un balance en la carga de la red y se implementan sobre la red SDON que es la misma de la propuesta de grado, por dicha razón [19] y [25] permiten entender de qué manera se realiza el enrutamiento junto con el tipo de impacto que implicaría la inclusión de la fibra como red de transporte, sin embargo, no usan un algoritmo genético para enrutamiento sobre la red SDON, como el que se trabajará en el proyecto de grado, el cual ya ha demostrado las ventajas sobre las redes SDN, en cuanto al balance de carga en la red, la optimización en el uso de los recursos espectrales, la eficiencia del cálculo de las rutas óptimas y la reducción de los tiempos de convergencia.

También es importante resaltar que en redes distintas a SDN y SDON se implementan algoritmos genéticos e incluso sobre estas redes se pueden implementar abstracciones del proceso de centralización de la arquitectura SDN, tal es el caso de lo desarrollado en [20], [21] y [24] y [28], donde la solución de [20] logra una mayor eficiencia espectral que los algoritmos tradicionales de referencia, sobre una Red Óptica Elástica (EON, *Elastic Optical Network*) para escenarios de red con pocas demandas de transmisión, [24] aborda el problema de enrutamiento y asignación de espectro que se presenta en las redes de fibra óptica proponiendo un algoritmo genético con control cognitivo para resolverlo; este resulta ser muy efectivo logrando una disminución en la probabilidad de bloqueo para diferentes tasas de transmisión de datos y a su vez brindan un análisis de cómo se comportan los algoritmos genéticos sobre las redes de fibra óptica, que en el caso de SDON, se implementan como redes de transporte. En [21] se implementa un algoritmo genético sobre una Red de Sensores Inalámbricos (WSN, *Wireless Sensor Networks*) de quinta generación con el objetivo de probar su desempeño; los resultados demostraron que este algoritmo superó a los demás algoritmos en comparación en tiempo de ejecución y calidad de las soluciones ya que, al aumentar el número de nodos defectuosos de la red, las rutas disponibles se saturaron y se aumentó el retraso de cola en estos, la reacción de los demás algoritmos se basó en iniciar el proceso de búsqueda de rutas alternativas, mientras que el GA en su proceso inicial ya había realizado dicho cálculo. A diferencia de [20], [21] y [24], en [28] se implementa un algoritmo Dijkstra para el cálculo de la ruta y un algoritmo del péndulo para la asignación espectral sobre una red óptica NSFNet (*National Science Foundation's Network*, Red de la Fundación Nacional de Ciencias), con el



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

objetivo de asignar los recursos de forma dinámica y que los flujos viajen por el mejor canal disponible. El algoritmo de péndulo se compara con un algoritmo LAUC (*Last Unplanned Channel Available*, Último Canal no planificado Disponible), donde los resultados mostraron que el algoritmo de péndulo es la mejor alternativa sobre un escenario de red distribuida con poca capacidad espectral y baja tasa de trasmisión, ya que se disminuye la probabilidad de bloqueo y el retardo, pero sucede lo contrario sobre un escenario de red centralizado ya que la carga útil debe esperar a que se ejecute el procesamiento en el nodo central, aumentando el tiempo de retardo y la probabilidad de bloqueo, perfilando así al algoritmo LAUC como la mejor alternativa sobre dicho escenario. De forma general, se observa que la implementación de algoritmos genéticos sobre redes de fibra óptica y de sensores inalámbricos presenta ventajas de optimización en comparación con los algoritmos de enrutamiento tradicionales, generando así la motivación de ser usados sobre redes de control centralizado y altas capacidades de transmisión para analizar su desempeño. Además, la implementación parcial de características de SDN sobre redes ópticas es una base para la exploración del desempeño de SDON.

Para el estudio de SDON será importante considerar los problemas de enrutamiento que se presentan en la fibra, las diferentes configuraciones y modificaciones propuestas a los GA en los diferentes artículos analizados, ya que se encontraron

algunas limitaciones en el algoritmo genético puro, el desempeño de la red SDN sobre sus distintos controladores como fue el caso de OpenDaylight y Floodlight y; tener en cuenta todos los parámetros que permiten medir el desempeño del algoritmo genético a probar sobre la red.

En la tabla 1, se presenta un resumen de los documentos citados de acuerdo con las temáticas tratadas:

**Tabla 1. Clasificación de los documentos encontrados**

Articulo	Redes			Algoritmo(s) propuesto(s)		
	SDN	SDON	Otra	GA	GA modificado, híbrido	Otro(s)
Traffic Engineering in SDN with Cultural Algorithms [16]	x				x	
Investigation of Multipath Routing Algorithms in Software Defined Networking [17]	x					x



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

An Improved GAC Routing Algorithm Based on SDN [14]	X				X	
The Multi-Path Routing Problem in the Software Defined Network [18]	X			X		
An Effective RSA Scheme under the Consideration of Diffserv QoS in Multi-Domain Heterogeneous Software Defined Optical Network [19]		X				X
Genetic Algorithm for Routing and Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks [20]			X		X	
Genetic Algorithm-Based Routing Performance Enhancement in Wireless Sensor Networks [21]			X		X	
An Evolutionary Multipath Routing Algorithm using SDN [22]	X			X		
Multi-objective multi-constrained QoS Routing in large-scale networks: A genetic algorithm approach [23]	X			X		
Cognitive control based on genetic algorithm for routing and wavelength assignment in optical OBS/WDM networks [24]			X	X		
Risk Balancing Routing Assignment Mechanism Based Software Defined Optical Network Service Importance [25]		X				X
OpenDaylight vs. Floodlight: Comparative Analysis of a Load Balancing Algorithm for Software Defined Networking[26]	X					X
Bacteria-Inspired Communication Mechanism	X				X	



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

based on Software-defined Network [27]						
Algoritmo Cognitivo para la Asignación de Recursos de Red, en una Plataforma DWDM [28]			X			X

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el desempeño de una red SDON al incluir un mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en Algoritmos Genéticos.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar un mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en Algoritmos Genéticos para una SDON en un entorno de simulación.
- Evaluar el desempeño de la red SDON con y sin el mecanismo.

### 4. APORTES

Este trabajo de grado realizará los siguientes aportes:

- Lineamiento para la implementación de una red óptica definida por software.
- Mecanismo dinámico basado en algoritmos genéticos para el enrutamiento en redes ópticas definidas por software.
- Resultados del desempeño de un mecanismo dinámico basado en algoritmos genéticos para una red SDON.

### 5. ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

La metodología que se utilizará para el desarrollo del trabajo de grado se basa en la metodología en cascada [29], lo que permite dividir el trabajo en etapas.



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

### 5.1. ACTIVIDADES

#### 5.1.1. Fase de análisis

**Actividad 1:** Recopilación de información acerca de algoritmos genéticos, enrutamiento en redes SDON, herramientas de diseño y simulación para redes SDON.

**Actividad 2:** Selección de herramientas de simulación.

**Actividad 3:** Análisis de requerimientos.

#### 5.1.2. Fase de diseño

**Actividad 4:** Diseño del mecanismo de asignación dinámico de ruta basado en algoritmos genéticos.

**Actividad 5:** Codificación del algoritmo.

**Actividad 6:** Diseño del escenario de simulación.

#### 5.1.3. Fase de implementación

**Actividad 7:** Implementación de la red SDON e integración del mecanismo diseñado.

#### 5.1.4. Fase de pruebas.

**Actividad 8:** Definir metodología y métricas para el desarrollo de las pruebas.

**Actividad 9:** Ejecución de las pruebas de acuerdo con la metodología y pruebas definidas.

#### 5.1.5. Fase de mantenimiento

**Actividad 10:** Análisis del desempeño de la red en términos de la medición de retardos de extremo a extremo y pérdida de paquetes.

**Actividad 11:** Conclusiones de los resultados y definición de mejoras que pudieran realizarse al trabajo propuesto.

### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

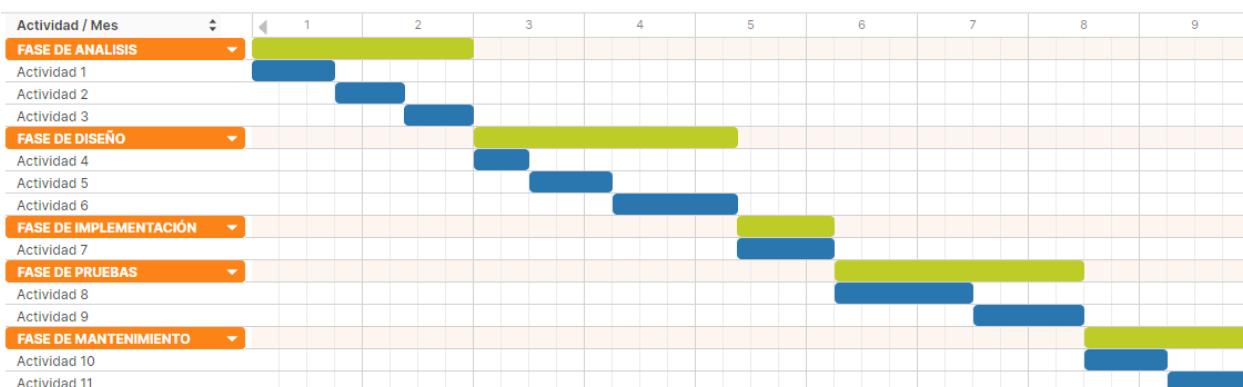


Figura 1. Cronograma de actividades.



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

### 6. RECURSOS, PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION

El cálculo del presupuesto mostrado en la tabla 2, se realiza con base en los criterios de referencia para la elaboración de presupuesto en anteproyectos del Comité de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Universidad del Cauca, con un valor de punto de \$14.938 COP por hora. El valor del punto para el director del trabajo de grado es de 2.5 y 1.5 para el estudiante.

RECURSO	FUENTE	TOTAL
	ESTUDIANTE	FIET
Recursos humanos		
Director		\$2'688.840
Estudiantes	\$48'399.120	
Hardware		
Impresora	\$100.000	
Computador	\$1'420.000	
Acceso a bibliografía	\$600.000	
Varios		
Discos, papel, tinta	\$150.000	
otros	\$200.000	
Subtotal	\$50'869.120	\$2'688.840
AUI (20%)	\$10'173.824	\$537.768
<b>TOTAL</b>	<b>\$61'042.944</b>	<b>\$3.226.608</b>
		<b>\$64'269.542</b>

**Tabla 2. Presupuesto del Proyecto**

El presupuesto se planteó de acuerdo con las siguientes características:

Director del proyecto: MScs. Catalina Muñoz Collazos con disponibilidad de 2 horas semanales durante la realización del proyecto.

Grupo de Trabajo:

-Esteban Acosta Vivas, con disponibilidad de 30 horas semanales. Duración de 9 meses, un total de 36 semanas.



## **Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON**

-Brayan Smith García, con disponibilidad de 30 horas semanales. Duración de 9 meses, un total de 36 semanas.

### **7. CONDICIONES DE ENTREGA**

Como producto de la realización del trabajo de grado propuesto y el cumplimiento de los objetivos establecidos, se hace entrega de lo siguiente:

- Documentación del trabajo de grado, en donde se consignan los puntos de desarrollo de la propuesta.
- Anexos respectivos a la información complementaria que permita una mejor comprensión de la temática tratada en el trabajo.
- Artículo con resultados del proyecto.
- Disco Compacto con toda la documentación relacionada al trabajo de grado.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Boletín trimestral de las TIC", Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Bogotá, Colombia, Boletín, 2018. [En línea]. Disponible en: [www.mintic.gov.co](http://www.mintic.gov.co).
- [2] T. Benson, A. Akella, y D. Maltz, "Unraveling the Complexity of Network Management", en *Proceedings of the 6th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, Berkeley, CA, USA, 2009, pp. 335–348, Consultado: nov. 27, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1558977.1559000>.
- [3] M. Kantor *et al.*, "A survey on multi-layer IP and optical Software-Defined Networks", *Computer Networks*, vol. 162, p. 106844, oct. 2019, doi: 10.1016/j.comnet.2019.06.022.
- [4] M. Jarschel, T. Zinner, T. Hossfeld, P. Tran-Gia, y W. Kellerer, "Interfaces, attributes, and use cases: A compass for SDN", *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, núm. 6, pp. 210–217, jun. 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6829966.
- [5] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Veríssimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, y S. Uhlig, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey", *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, núm. 1, pp. 14–76, ene. 2015, doi: 10.1109/JPROC.2014.2371999.
- [6] Y. Zhao, Y. Wang, W. Wang, y X. Yu, "Software-Defined Optical Networking (SDON): Principles and Applications", en *Optical Fiber and Wireless Communications*, InTech, 2017.
- [7] P. Selvaraj y V. Nagarajan, "PCE based path computation algorithm selection framework for the next generation SDON", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 95, núm. 11, pp. 2370–2382, 2017.
- [8] D. T. Hai, "Multi-objective genetic algorithm for solving routing and spectrum assignment problem", en *2017 Seventh International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, abr. 2017, pp. 177–180, doi: 10.1109/ICIST.2017.7926753.
- [9] Y. D. Rosita, E. E. Rosyida, y M. A. Rudiyan, "Implementation of Dijkstra Algorithm and Multi-Criteria Decision-Making for Optimal Route Distribution", *Procedia Computer Science*, vol. 161, pp. 378–385, ene. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.11.136.
- [10] Min-You Wu y Wei Shu, "RPP: a distributed routing mechanism for strategic wireless ad hoc networks", en *IEEE Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04.*, nov. 2004, vol. 5, pp. 2885-2889 Vol.5, doi: 10.1109/GLOCOM.2004.1378882.
- [11] P. T. Cao Thai, H. N. Ha, y C. H. Tran, "A heuristic algorithm for bandwidth delay constrained routing", en *2014 International Conference on Advanced*



- Technologies for Communications (ATC 2014)*, oct. 2014, pp. 99–104, doi: 10.1109/ATC.2014.7043364.
- [12] A. Erickson, I. A. Stewart, J. A. Pascual, y J. Navaridas, “Improved routing algorithms in the dual-port datacenter networks HCN and BCN”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 75, pp. 58–71, oct. 2017, doi: 10.1016/j.future.2017.05.004.
  - [13] M. Forghani-elahabad y L. H. Bonani, “An improved algorithm for RWA problem on sparse multifiber wavelength routed optical networks”, *Optical Switching and Networking*, vol. 25, pp. 63–70, jul. 2017, doi: 10.1016/j.osn.2017.03.001.
  - [14] S. Jing, W. Muqing, B. Yong, y Z. Min, “An improved GAC routing algorithm based on SDN”, en *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, dic. 2017, pp. 173–176, doi: 10.1109/CompComm.2017.8322535.
  - [15] A. S. Thyagaturu, A. Mercian, M. P. McGarry, M. Reisslein, y W. Kellerer, “Software Defined Optical Networks (SDONs): A Comprehensive Survey”, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, núm. 4, pp. 2738–2786, Fourthquarter 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2586999.
  - [16] T. de Amorim Monteiro, E. Q. de Albuquerque, y A. M. Balieiro, “Traffic Engineering in SDN with Cultural Algorithms”, en *2018 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)*, nov. 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/LA-CCI.2018.8625225.
  - [17] M. Fu y F. Wu, “Investigation of Multipath Routing Algorithms in Software Defined Networking”, en *2017 International Conference on Green Informatics (ICGI)*, ago. 2017, pp. 269–273, doi: 10.1109/ICGI.2017.21.
  - [18] Yilan Liu, Yun Pan, Muxi Yang, Wenqing Wang, Chi Fang, y Ruijuan Jiang, “The multi-path routing problem in the Software Defined Network”, en *2015 11th International Conference on Natural Computation (ICNC)*, ago. 2015, pp. 250–254, doi: 10.1109/ICNC.2015.7377999.
  - [19] F. Li, Dou Zheng, Jinhua Hu, D. Ren, y J. Zhao, “An effective RSA scheme under the consideration of diffserv QoS in multi-domain heterogeneous software defined optical network”, en *2016 15th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON)*, sep. 2016, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICOON.2016.7875819.
  - [20] P. Lechowicz y K. Walkowiak, “Genetic Algorithm for Routing and Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks”, en *2016 Third European Network Intelligence Conference (ENIC)*, sep. 2016, pp. 273–280, doi: 10.1109/ENIC.2016.047.
  - [21] N. Muruganantham y H. El-Ocla, “Genetic Algorithm-Based Routing Performance Enhancement in Wireless Sensor Networks”, en *2018 IEEE 3rd International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS)*, dic. 2018, pp. 79–82, doi: 10.1109/ICOMIS.2018.8644725.



- [22] N. Farrugia, J. A. Briffa, y V. Buttigieg, "An Evolutionary Multipath Routing Algorithm using SDN", en *2018 9th International Conference on the Network of the Future (NOF)*, nov. 2018, pp. 1–8, doi: 10.1109/NOF.2018.8597865.
- [23] P. T. Anh Quang, J.-M. Sanner, C. Morin, y Y. Hadjadj-Aoul, "Multi-objective multi-constrained QoS Routing in large-scale networks: A genetic algorithm approach", en *2018 International Conference on Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT)*, oct. 2018, pp. 55–60, doi: 10.1109/SaCoNeT.2018.8585634.
- [24] T. Peña Valencia, A. M. Hincapié Moncayo, y J. G. López Perafán, "Cognitive Control Based on Genetic Algorithm for Routing and Wavelength Assignment in Optical OBS/WDM Networks.", presentado en INNOV 2013, The Second International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies, nov. 2013, pp. 11–17, Consultado: ene. 23, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=innov\\_2013\\_1\\_30\\_60043](https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=innov_2013_1_30_60043).
- [25] C. Chen *et al.*, "Risk balancing routing assignment mechanism based software defined optical network service importance", en *2017 16th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON)*, ago. 2017, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICOON.2017.8121500.
- [26] J. P. Duque, D. D. Beltrán, y G. P. Leguizamón, "OpenDaylight vs. floodlight: Comparative analysis of a load balancing algorithm for software defined networking", *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 10, pp. 348–357, ene. 2018.
- [27] Y.-C. Chang, W.-X. Cai, y J.-W. Jhuang, "Bacteria-inspired communication mechanism based on software-defined network", en *2018 27th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*, abr. 2018, pp. 1–3, doi: 10.1109/WOCC.2018.8372712.
- [28] S. D. Ossa Hernández y J. A. Vargas Gutiérrez, "Algoritmo cognitivo para la asignación de recursos de red, en una plataforma DWDM", 2019, Consultado: abr. 09, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1646>.
- [29] "A Simulation Model for the Waterfall Software Deveent Life Cycle.pdf | Software Development | Software Development Process". <https://es.scribd.com/document/402455610/A-Simulation-Model-for-the-Waterfall-Software-Deveent-Life-Cycle-pdf> (consultado abr. 04, 2020).



## Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

### FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

#### ACTA DE ACUERDO SOBRE LA PROPIEDAD INTELECTUAL DEL TRABAJO DE GRADO

En atención al acuerdo del Honorable Consejo Superior de la Universidad del Cauca, número 004 de 2018, donde se estipula todo lo concerniente a la producción intelectual en la institución, los abajo firmantes, reunidos el día \_\_\_\_ del mes de \_\_\_\_\_ de 2020 en el salón del Consejo de Facultad, acordamos las siguientes condiciones para el desarrollo y posible usufructo del siguiente trabajo de grado.

Materia del acuerdo: Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

Título del Trabajo de grado:

- **Mecanismo de Asignación Dinámica de Rutas basado en Algoritmos Genéticos para una Red Óptica Definida por Software**

Objetivo del trabajo de grado:

- **Analizar el desempeño de una red SDON al incluir un mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en Algoritmos Genéticos.**

Duración del trabajo de grado: 9 meses

Los participantes del trabajo de grado, el (los) señor(es) estudiante(s) de **pregrado Esteban Acosta Vivas y Brayan Smith García Asprilla**, identificado(s) con la cédula de ciudadanía número **1.061.746.080 y 1.059.066.593** respectivamente, a quien(es) en adelante se le(s) llamará "estudiante(s)", la ingeniera **Catalina Muñoz Collazos** en calidad de Directora del trabajo de grado, identificada con la cédula de ciudadanía **1.061.703.562** a quien en adelante se le llamará "docente", y la Universidad del Cauca, representada por el Decano de la FIET, manifiestan que:

1. La idea original del trabajo de grado es de Catalina Muñoz Collazos quien la propuso y presentó al Departamento de Telecomunicaciones, que la aceptó como tema para el trabajo de grado en referencia.
2. La idea mencionada fue acogida por el(los) estudiante(s) como trabajo de grado para obtener el grado de ingeniero(s) en Electrónica y Telecomunicaciones, quienes la desarrollarán bajo la dirección del docente.



## **Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON**

3. Los derechos morales corresponden al docente y a los estudiantes.
4. Los derechos patrimoniales corresponden a la Universidad del Cauca y del estudiante, teniendo en cuenta que “La Universidad ostentará la titularidad de los derechos patrimoniales de autor y de los derechos de propiedad industrial que recaigan sobre los resultados obtenidos por sus docentes, servidores, funcionarios administrativos o contratistas como consecuencia de sus compromisos, laborales, contractuales o académicos con la Universidad”.
5. Los participantes se comprometen a cumplir con todas las condiciones de tiempo, recursos, infraestructura, dirección, asesoría, establecidas en el anteproyecto a estudiar, analizar, documentar y hacer acta de cambios aprobados por el Consejo de Facultad, durante el desarrollo del trabajo de grado, los cuales entran a formar parte de las condiciones generales.
6. Los estudiantes se comprometen a restituir en efectivo y de manera inmediata a la Universidad los aportes recibidos y los pagos hechos por la Institución a terceros por servicios o equipos, si el comité de Investigaciones declara suspendido el trabajo de grado por incumplimiento del cronograma o de las demás obligaciones contraídas por los estudiantes; y en cualquier caso de suspensión, la obligación de devolver en el estado en que les fueron proporcionados y de manera inmediata, los equipos de laboratorio, de cómputo y demás bienes suministrados por la Universidad para la realización del trabajo de grado.
7. El docente y los estudiantes se comprometen a dar crédito a la Universidad y de hacer mención del Fondo de Fomento de Investigación, en los informes de avance y de resultados, y en registro de éstos, cuando ha habido financiación de la Universidad o del Fondo.
8. Cuando por razones de incumplimiento, legalmente comprobadas, de las condiciones de desarrollo planteadas en el anteproyecto y sus modificaciones, alguno de los participantes deba ser excluido del trabajo de grado, los derechos aquí establecidos concluyen para él. Además, se tendrán en cuenta los principios establecidos en el reglamento estudiantil vigente de la Universidad del Cauca en lo concerniente a la cancelación y la pérdida del derecho a continuar estudios.
9. El documento del anteproyecto y las actas de modificaciones si las hubiere, forman parte integral de la presente acta.



## **Mecanismo de asignación dinámica de rutas basado en algoritmos genéticos para una red óptica SDON**

10. Los aspectos no contemplados en la presente acta serán definidos en los términos del acuerdo 008 del 23 de febrero de 1999 expedido por el Consejo Superior de la Universidad del Cauca, del cual los participantes del acuerdo aseguran tener pleno conocimiento.

---

Catalina Muñoz Collazos  
**Director**

---

Francisco José Pino  
**Decano Facultad**

---

Brayan Smith García Asprilla  
**Estudiante**

---

Esteban Acosta Vivas  
**Estudiante**