
Optimización de la ubicación de controladores en redes SDN

Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones -
Grupo INVTEL - USTA

Departamento de informática -
Grupo ADOPNET - IMT Atlantique



Tabla de contenido

1. Título	4
2. Duración	4
3. Lugar de ejecución	4
4. Investigador principal	4
5. Co-investigadores	4
6. Equipo de investigación requerido	5
7. Alianza estratégica	6
8. Resumen de la propuesta	7
9. Palabras clave	7
10. Planteamiento del problema y pregunta de investigación	7
11. Justificación	8
12. Objetivo general	9
13. Objetivos específicos	9
14. Marco teórico	9
15. Metodología	13
16. Resultados esperados	15
17. Productos esperados	16
18. Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional	16
19. Presupuesto	17
20. Cronograma	18
21. Posibles evaluadores	20
22. Bibliografía	21
23. Anexo A. Carta de intención IMT-Atlantique	23

1. Título

Optimización de la ubicación de controladores en redes SDN

2. Duración

Abril - Diciembre 2018 (9 meses)

3. Lugar de ejecución

Bogotá, D.C.

Sede principal Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones.
En colaboración virtual IMT-Atlantique en Francia, específicamente con el grupo ADOPNET del Departamento de informática.

4. Investigador principal

Felipe Díaz Sánchez - USTA

5. Co-investigadores

Isabel Amigo - IMT-Atlantique

Gerald Breek Fuenmayor Rivadeneira - USTA

Juliana Arévalo - USTA

Tabla 1: Datos generales del proyecto

Datos generales					
Programa(s)	Facultad(es)	Línea activa	Línea medular	Campos de acción institucional (Seleccione)	Grupo(s) de investigación
Ingeniería de Telecomunicaciones	Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones	Interconexión y convergencia	Alberto Magno: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente	Derechos humanos, ciudadanía y construcción de política pública en y para escenarios de paz ()	INVTEL

Maestría en Telecomunicaciones y Regulación TIC				Desarrollo tecnológico con apuesta social (X)	
				Desarrollo ambiental sostenible ()	
				Cambio educativo y social desde la multi e interculturalidad ()	

6. Equipo de investigación requerido

El equipo de trabajo está compuesto por tres profesores de la facultad de ingeniería de la Universidad Santo Tomás, una profesora del IMT-Atlantique y tres estudiantes de la maestría en telecomunicaciones y regulación TIC. Se contempla la vinculación de dos estudiantes de pregrado. Así como la participación del semillero MAGNADATA de la facultad de ingeniería de telecomunicaciones, en el desarrollo de este proyecto.

Felipe Díaz Sánchez

USTA

- Ph.D en informática y redes - Télécom Paristech, Francia
- Docente - Investigador Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones
- [cvlac diaz-sanchez](#)
- Más de 5 años de experiencia como investigador en temáticas de desarrollo de software, cloud y Sistemas Inteligentes de transporte. Actualmente, es investigador dentro del Centro de Excelencia y Apropiación para el Internet de las Cosas (CEA-IoT)

Isabel Amigo

IMT - Atlantique

- Ph.D. en informática e ingeniería eléctrica - Télécom Bretagne, Francia y Universidad de la República, Uruguay
- Docente - Investigador Departamento de informática
- 10 años de experiencia en investigación y docencia (4 años en Uruguay, 6 años en Francia). Sus intereses se centran en aspectos técnicos y tecno-económicos del desempeño de redes de computadoras, ingeniería de tráfico, calidad de servicio, control y gestión de las mismas.

Juliana Arévalo

USTA

- Magíster en seguridad informática - Universidad Abierta de Cataluña, España
- Docente - Investigador Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones

- 10 años de experiencia en la industria de telecomunicaciones en Colombia, formulación y ejecución de proyectos de soluciones de conectividad, comunicaciones unificadas y centros de datos para entidades de gobierno y empresa privada.

Gerald Breek Fuenmayor Rivadeneira

USTA

- Ing. de Sistemas - Universidad Nacional, Colombia
- Docente - Investigador Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones
- 13 años de experiencia profesional y académica. Ha sido docente en áreas de programación, Ingeniería de software, seguridad de la información y Telemática, área que actualmente coordina e imparte y que se alinea con los intereses de esta investigación. Ha trabajado en el sector privado como programador, líder en procesos de sistematización y soporte técnico en Intranets y servicios telemáticos.

Danny Alexander Riaño Gómez

USTA

- Ing. Electrónico - Universidad Distrital, Colombia
- Candidato a magíster de la Maestría en telecomunicaciones y regulación TIC
- Asistente de investigación

Yeison Moreno Gómez

USTA

- Ing. Electrónico - Universidad Santo Tomás, Colombia
- Candidato a magíster de la Maestría en telecomunicaciones y regulación TIC
- Asistente de investigación

Richard Isaac Abuabara

USTA

- Ing. Electrónico - Universidad de Pamplona, Colombia
- Candidato a magíster de la Maestría en telecomunicaciones y regulación TIC
- Asistente de investigación

7. Alianza estratégica

El proyecto es presentado en colaboración con la institución francesa IMT-Atlantique (ver Anexo A. Carta de intención IMT-Atlantique). Específicamente, en el proyecto participará la profesora Isabel Amigo quien actualmente hace parte del proyecto de investigación PROVE¹, el cual reúne participantes de Chile, Francia y Uruguay, y que es financiado por el programa STIC-AmSud. El objetivo de PROVE es construir métodos de enrutamiento

¹ Más detalles sobre el proyecto PROVE: <https://www.laas.fr/projects/prove/>

que puedan ser desplegados sobre redes de larga escala. De esta manera, se afianza la colaboración en investigación con esta institución francesa con quien la USTA tiene un convenio marco interinstitucional. Adicionalmente, Esta colaboración permitirá al grupo INVTEL un acercamiento a investigaciones e información que impulsan el desarrollo de redes SDN en el mundo.

8. Resumen de la propuesta

Las redes definidas por software (SDN²) introducen un paradigma que consiste en la separación del plano de control del plano de datos. Esta separación es posible gracias a la introducción de controladores en el plano de control y de dispositivos de reenvío de paquetes en el plano de datos. Los controladores se encargan de la optimización de las operaciones de red, por medio de la gestión de la operación de los dispositivos de reenvío. La presencia de un único controlador en una SDN no solamente representa un único punto de fallo, sino que trae consigo problemas de latencia y escalabilidad. Así pues, el despliegue de múltiples controladores en una SDN es recomendable, especialmente en redes de larga escala o bajo condiciones de gran carga. Si bien la multiplicidad de controladores en redes SDN es un hecho, el problema de su ubicación es un tema que actualmente se encuentra en estudio por la comunidad científica. Este problema no tiene una única solución, ni modelo que lo caracterice, puesto que la ubicación de los controladores en redes SDN está sujeta a criterios de optimización (e.g. escalabilidad, balanceo de carga, resiliencia, retardo de comunicaciones entre controladores), a la topología de red y a las restricciones que ésta pueda imponer sobre los controladores y los dispositivos de reenvío. Para tratar este problema se han definido tanto modelos exactos como heurísticos. Esta propuesta trata sobre la optimización de la ubicación de los controladores en redes WAN SDN. Este problema se abordará en colaboración con IMT Atlantique y se articulará con estudiantes de la Maestría en Telecomunicaciones y Regulación TIC, del pregrado de Ingeniería de Telecomunicaciones y del semillero MAGNADATA.

9. Palabras clave

SDN, Ubicación del controlador, Optimización multiobjetiva, Algoritmos heurísticos, Métodos exactos

² Del inglés, Software Defined Networks.

10. Planteamiento del problema y pregunta de investigación

El paradigma de “redes programables” se ha propuesto como una forma de facilitar la evolución de las redes e Internet para atender los nuevos retos que están imponiendo las tendencias emergentes (servicios en la nube, comunicaciones móviles, Big Data y social) [1]. SDN es una arquitectura de red planteada para simplificar la gestión y permitir la evolución hacia las redes programables [2]. El principio de las SDN es separar el plano de control del plano de datos. De esta forma es posible centralizar lógicamente la toma de decisiones para el reenvío de paquetes, en un elemento denominado *controlador*, que coordina a los elementos del plano de datos: *forwarding devices* (FD). Para esto es necesario generar interfaces de software que permitan la implementación y el desarrollo de aplicaciones de red.

El problema de la ubicación de controladores en redes SDN ha sido ampliamente estudiado. Este consiste en determinar la ubicación y cantidad de controladores que deben desplegarse en una red SDN, considerando la topología de la red y criterios como: tolerancia a fallos, balanceo de carga, latencia entre controladores, latencia entre controladores y forwarding devices, calidad de servicio, escalabilidad etc. Para resolver este problema, se han propuesto métodos exactos [2]-[5] y métodos heurísticos [6]-[11], [11]-[16]. La pregunta a responder es: ¿Dada una topología de red, cuántos controladores son necesarios, en dónde deben ser ubicados y cuántos FD deben ser asignados a cada controlador para optimizar el rendimiento?

11. Justificación

Existe una heterogeneidad entre las interfaces de gestión de las diferentes marcas de elementos de red (por ejemplo, cada marca maneja su propio conjunto de comandos para la configuración de dispositivos de red). Además, al estar integradas las funciones de control y reenvío de paquetes en los elementos de red, se requiere configurar individualmente cada elemento. En una red de gran escala, esta tarea representa un largo tiempo de convergencia, recurso humano capacitado dedicado y es propensa a errores.

El problema se hace más complejo considerando el crecimiento exponencial esperado con la llegada de nuevas tecnologías como IoT, cloud y big data. SDN se presenta como una alternativa de solución a los problemas mencionados aunque es una tecnología en maduración que requiere más investigación y desarrollo. El uso y ubicación óptimos de los recursos permite mejorar el desempeño en cualquier red. En el caso de las SDN, la ubicación de los controladores es crucial para el buen desempeño de las mismas.

Desde la perspectiva del grupo de investigación INVTEL, y en el marco de su línea de investigación “Interconexión y convergencia” el problema de la ubicación de los controladores en redes SDN, permitirá desarrollar, adquirir y apropiar competencias y conocimientos de este nuevo paradigma tecnológico.

12. Objetivo general

Proponer y evaluar comparativamente 3 modelos de optimización para solucionar el problema de la ubicación de los controladores en redes SDN desplegadas en topologías WAN.

13. Objetivos específicos

- Establecer el cuerpo de conocimiento relacionado con el problema de la ubicación de controladores en redes SDN con la finalidad de identificar los objetivos de optimización, restricciones, técnicas utilizadas y topologías evaluadas para tratar este problema.
- Proponer modelos de optimización para tratar el problema de la ubicación de controladores en redes SDN que contemplen uno o más factores diferenciadores a los identificados en el cuerpo de conocimiento.
- Implementar los modelos de optimización propuestos para tratar el problema de la ubicación de controladores en redes SDN.
- Medir el desempeño de los modelos propuestos por medio de las topologías identificadas en el cuerpo de conocimiento.
- Generar productos de investigación derivados de los modelos de optimización propuestos tales como: trabajo de grado maestría, artículo de revista indexada o artículo de conferencia.

14. Marco teórico

14.1. SDN

Las redes definidas por software (SDN por sus siglas en inglés) son una nueva concepción de la estructura de las redes de datos que cambia los esquemas que se han usado desde la creación de las redes de transporte de información.

Internet y las redes basadas en IP tienen extensiones globales y a través de ellas se ha

creado la sociedad digital. Sin embargo, la gestión de los elementos que las conforman, se hace cada vez más difícil debido a la integración vertical de los nodos. En cada uno de ellos, la toma de decisiones (control) y la ejecución de las tareas (transmisión de los datos) están atados en hardware y software.

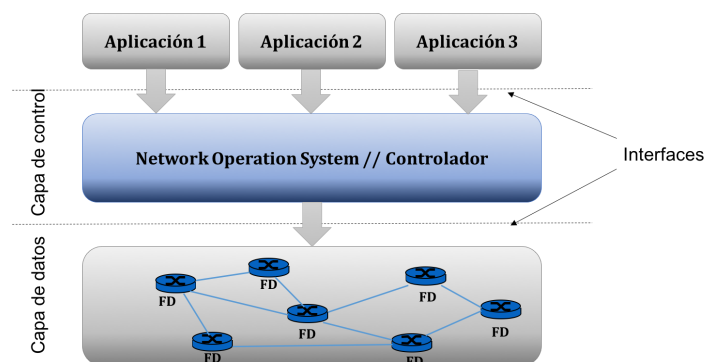
Lo anterior implica que mientras más se extiende la red o se añaden funciones para el transporte de nuevos servicios, se generan varios inconvenientes: la complejidad de la gestión, el tiempo de reconfiguración, el costo de mantenimiento y las fallas en los sistemas debido al error humano se hacen cada vez mayores [14].

SDN se presenta como un nuevo paradigma en el que se tiene una desintegración vertical de las funciones de control y transmisión de datos que permitirá atacar los problemas mencionados. Bajo la premisa de SDN, los nodos de la red se convierten en simples dispositivos de reenvío o *forward devices* (FD), que se limitan a intercambiar los paquetes de datos, mientras las decisiones y el control de la red se centraliza totalmente. Esta centralización sin embargo, es lógica y físicamente puede estar distribuida, según el tamaño, topología y requerimientos de desempeño específicos de la red.

El corazón de una red SDN, es el controlador centralizado donde se toman las decisiones y gracias a esta estructura, SDN presenta características diferentes a las de una red tradicional:

- Las decisiones de enrutamiento son basadas pueden servir para realizar funciones tradicionales de las redes de datos como enrutamiento, conmutación, seguridad, balanceo de carga etc. Adicionalmente, es posible la generación de nuevas aplicaciones que funcionen sobre la misma infraestructura.

Figura 1: Modelo de capas SDN



La arquitectura de SDN consta de 3 capas. Además de las capas de control y la de datos, se añade una de aplicaciones, donde se describe en alto nivel la operación de la red.

Entre las capas se requiere interfaces de comunicación.

Aunque la tecnología está aún en etapa de desarrollo, existen varias implementaciones comerciales que están aportando beneficios a las redes existentes. Gartner en 2014 informó [17] que un 53% de sus clientes ya están considerando desplegar tecnología de SDN y más del 4% lo ha implementado operativamente en su red en producción.

VMX de VMware es una implementación comercial de overlay SDN, un despliegue en el que se tiene una red lógicamente separada, sobre la infraestructura de red existente para hacer uso de funcionalidades diferentes.

Las SDN aún presentan varios frentes de trabajo de investigación como seguridad, virtualización de la red, marcos de trabajo para el desarrollo de aplicaciones, entre otros.

14.2. Problema de la ubicación de los controladores en redes SDN

Uno de los campos de mayor relevancia, es el de la ubicación de los controladores en redes SDN que optimice los parámetros de la red como latencia, tolerancia a fallos, escalabilidad, resiliencia, entre otros. Este problema ha sido tratado mediante aproximaciones exactas [2]-[5] y heurísticas [6]-[16].

El problema fue planteado inicialmente por Heller, B. *et. al.* [1] y generalizado a varias topologías y tamaños de redes SDN. En este estudio, los autores, con el fin de estudiar el impacto de la ubicación de los controladores, tienen en cuenta la medición de dos tipos de latencia (promedio y peor-caso) entre los controladores y los FD en redes con diversas topologías. Respecto a la ubicación del controlador, se concluye que la ubicación arbitraria de los mismos puede aumentar significativamente la latencia promedio, entre 1.4 y 1.7 veces mayor a la latencia óptima. Este estudio también concluye mediante simulaciones que la latencia producto del despliegue de un único controlador, se reduce a la mitad, si se incluyen 3 o 4 controladores, dependiendo del tipo de latencia a optimizar.

El reporte técnico [18] desarrollado a IMT - Atlantique bajo la dirección de la profesora Isabel Amigo, presenta un excelente síntesis de trabajos relacionados con el problema de la ubicación de controladores en redes SDN. En este estudio, se identifican objetivos de optimización y técnicas y métricas para la solución del problema (Tabla 1).

Tabla 2: Objetivos de optimización, métricas y técnicas identificadas en estudios sobre la ubicación de controladores en redes SDN. Fuente: [18].

Objetivos de optimización			Métricas y técnicas
Latencia	Retardo propagación	Controlador a nodos	promedio, peor caso, ruta más corta, Non zero sum game

Tolerancia a fallas /Resiliencia	Fallas de controlador	Problemas de software, cantidad de controladores	Distancia al controlador de respaldo
			Latencia para asignar nodos a un nuevo controlador
	Perturbación de la red	Fallas de red	Enlaces controlador/controlador, controlador/nodo
			Porcentaje esperado de rutas de control válidas
		Fallas de nodos	Máximo flujo soportado por los nodos
	Latencia entre controladores		Promedio, peor caso, ruta más corta
Multi objetivo	Resiliencia, Latencia y Tolerancia a fallas	Balanceo de cargas en el controlador	Número de nodos por controlador, Encolamiento en el controlador, Reasignación de tráfico,
Multi objetivo	Resiliencia, Latencia y Tolerancia a fallas	Retardo de propagación. Falla de controlador. Perturbación de la red. Desbalanceo de carga. Latencia entre controladores	Enfoque heurístico
			Análisis de decisión multicriterio
			Framework POCO

14.3. Overlay SDN

Las redes superpuestas a Internet (Overlay Networks, ON) han surgido hace ya algunos años como una forma de controlar los flujos, el tráfico o la distribución del contenido por Internet, sin la necesidad de tener acceso a los equipos de los operadores o proveedores de servicios de Internet (ISP). En particular, las ON han hecho posible sobrellevar problemas de conectividad debido a fallos de BGP o al deterioro de la QoS, ya que permiten optimizar dinámicamente las rutas entre los nodos de la ON con independencia de las decisiones de ruteo BGP. Actualmente, muchas applications sobre Internet se basan en ONs. Algunas de ellas debido a necesidades de QoS, como las redes de

distribución de contenido [19], otras por razones de privacidad y algunas otras por la naturaleza de su arquitectura, como las redes entre pares (peer to peer).

Soluciones como las presentadas en los trabajos [21],[25],[28] han mostrado ser eficientes en cuanto a la resistencia a fallos de ruteo y QoS para redes ON con un número moderado de nodos. Recientemente, trabajos como [22][23] han propuesto enfoques que disminuyen la carga de monitoreo y vuelven la ON más escalable.

En este contexto, el paradigma SDN aparece como una tecnología facilitadora de la gestión de las ONs, al tiempo que permite manejar flujos a un nivel de granularidad más fino. Las redes SDN abren así una nueva oportunidad para implementar ingeniería de tráfico(TE) sobre redes IP. El plano de control centralizado no solo permite aplicar políticas más sofisticadas de TE, sino que además, simplifica la construcción de los caminos virtuales [20]. Distintos trabajos recientes han propuesto el uso de SDN para ONs, tal es el caso de, por ejemplo [24, 26,27].

Sin embargo, una de las limitaciones de las redes SDN, y que capta actualmente la atención de industriales y académicos, es el desempeño que estas redes pueden tener, sobre todo a escala metropolitana. Dicho desempeño depende fuertemente de la presencia del controlador. Este impone tiempos de comunicación switch-controlador, y tiempo de procesamiento a nivel del controlador. En particular, en las rON, donde los puntos de presencia están potencialmente alejados unos de otros, y donde el tráfico entre dichos puntos puede ser altamente variable (Internet), la ubicación del controlador es clave para obtener un buen desempeño de la solución.

En este proyecto proponemos considerar las ONs tal han sido descritas precedentemente como escenario de estudio. En particular, puede pensarse, por ejemplo, en la interconexión de datacenters distantes, con necesidades de resiliencia, disponibilidad y calidad.

15. Metodología

La investigación inherente a este proyecto es **aplicada** dado que se hará aplicación de conocimiento existente, también será **exploratoria** puesto que se indagará sobre aspectos de una tecnología como es SDN, será **cuantitativa** en relación a las variables que se medirán y será **cuasi-experimental** e **inductiva** dados las simulaciones y razonamientos que se derivarán de ellas.

El equipo de trabajo de la USTA tendrá reuniones semanales, profesores y estudiantes de maestría discutirán sobre el problema de la ubicación de controladores en las redes SDN. Los profesores darán lineamientos técnicos y metodológicos a los estudiantes de maestría para la creación de los modelos de optimización. Se plantea que cada estudiante de

maestría será responsable de la creación y validación de un modelo y su trabajo se enmarcará en el desarrollo de su trabajo de grado. Los estudiantes de maestría podrán apoyarse en los estudiantes de pregrado para la realización de tareas operativas tales como: simulaciones, generación de documentos en latex, entre otras.

De igual manera, está previsto un intercambio y seguimiento continuo con la profesora Isabel Amigo del IMT-Atlantique. Se contemplan reuniones de seguimiento quincenales por videoconferencia, y el resto del intercambio se realizará vía correo electrónico y herramientas de trabajo colaborativo. Una parte del presupuesto estará destinada a la movilidad docente.

La metodología prevista para abordar el problema de la ubicación de controladores en redes SDN es la siguiente:

1. Generación de insumos para el modelamiento del problema.
Se hará una revisión en las bases de datos ofrecidas por la universidad, fuentes bibliográficas como tesis de grado de doctorado y maestría, en las que se buscará literatura relacionada con los métodos para solucionar el problema de la ubicación del controlador en redes SDN implementadas en WAN.
 - a. Identificación de objetivos de optimización, restricciones, técnicas utilizadas y topologías evaluadas en literatura científica.
 - b. Identificación de herramientas de software y/o hardware utilizadas para tratar el problema.
2. Propuesta de modelos.
A partir de la información recopilada en la fase de generación de insumos, se identificarán los métodos propuestos e implementados por otros autores para seleccionar los más apropiados según los parámetros a optimizar.
 - a. Descripción de modelos.
 - b. Definición de escenarios para la evaluación de los modelos.
3. Criterios de evaluación, de validez y confiabilidad.
De acuerdo con los parámetros de medición que orientarán el proceso de optimización se establecerán los criterios que regirán la evaluación de modelos y la validez metodológica y de los resultados.
4. Evaluación de modelos.
Los modelos planteados se simularán en un lenguaje de programación de alto nivel, y se realizarán simulaciones hasta lograr una generalización de los resultados.
 - a. Implementación de modelos.
 - b. Verificación de la implementación de modelos.
 - c. Evaluación de desempeño de los modelos.
5. Análisis comparativo de desempeño de los modelos.

Una vez caracterizado cada método, se compararán los resultados de cada uno de ellos.

- a. Comparación de los modelos usando las topologías identificadas en la Generación de insumos.
- b. Descripción de resultados encontrados.

6. Generación de productos de investigación.

La documentación de la metodología y resultados obtenidos se realizará durante todo el desarrollo del proyecto y se condensará en tres tipos de productos.

- a. Trabajos de grado de maestría.
- b. Registro de software.
- c. Síntesis de resultados y puesta en forma de artículo de revista indexada o artículo de conferencia.

7. Redacción de informe final.

Los pasos presentados anteriormente, no necesariamente implican una secuencialidad en el orden de las tareas. Es posible la ejecución de múltiples tareas de manera simultánea de acuerdo al avance y de los retos encontrados durante el desarrollo del proyecto.

Figura 2: Metodología de trabajo



16. Resultados esperados

1. Generación de 3 modelos de optimización para el problema de la ubicación de controladores en redes SDN desplegadas en topologías WAN.
2. Comparación de diferentes modelos de optimización para el problema de la ubicación de controladores en redes SDN desplegadas en topologías WAN.
3. Fortalecer las actividades de investigación del grupo INVTEL.
4. Fortalecer las relaciones institucionales con IMT-Atlantique.

17. Productos esperados

La tabla 3 presenta los productos esperados, cada uno de estos productos está asociado a uno o más resultados presentados en el apartado anterior.

Tabla 3: Productos esperados

Cantidad	Producto	Resultado asociado	Apartado de la tipología de productos Colciencias
3	Trabajo de grado de maestría	1,3	2.1.3.4.2
1	Registro de software	1	2.1.3.2.1
1	Artículo de revista indexada o artículo de conferencia	1,2,4	2.1.3.1.1 o 2.1.3.3.4

18. Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional

1. Con qué líneas del PIM se vincula el proyecto:

Esta propuesta se articula con el PIM mediante La línea de acción **Proyección social e investigación pertinentes**, la cual busca “Focalizar y articular la investigación y la proyección social USTA Colombia visibilidad e impacto nacional y global”. En este sentido el proyecto aborda una temática contemporánea y pertinente dado que una de las tendencias en redes de comunicaciones es definir sus elementos mediante software. Además, el proyecto incorpora una cooperación internacional entre investigadores e incluso instituciones para el logro de objetivos que propone, permitiendo esto potenciar el desarrollo de conocimiento e impactar en el medio nacional e internacional a través de los resultados publicables y aplicables.

2. Con qué acciones del Plan General de Desarrollo Bogotá (PGDB), se articula el proyecto:

La articulación se da en la línea de acción 3 **Proyección social e investigación pertinentes**. Este proyecto en el punto 3.1.2 permitirá generar capacidades de investigación de alto nivel ya que está articulado con instituciones internacionales y la temática es realmente actual e innovadora que permitirá a la vez actualizar el currículo en el área de conocimiento del programa de telecomunicaciones, en el futuro las SDN soportarán el tráfico de datos en redes de área metropolitana y del Internet de las Cosas (IoT), así pues, la optimización de las mismas resulta en un elemento innovador . En el punto 3.3.1. la experiencia en la ejecución del proyecto puede ayudar a establecer las buenas prácticas de la sede en relación con proyectos en cooperación internacional directamente con los investigadores de otras instituciones fortaleciendo el convenio existente con IMT Atlantique e impactando el punto 3.5.1. Finalmente sin duda impactar el punto 3.4 incrementando la producción investigativa mediante los productos comprometidos.

19. Presupuesto

Teniendo en cuenta que la asignación de la nómina de los docentes se hace por todo el año aunque el proyecto se ejecute en 9 meses, y que la inversión del programa en investigación para efectos del CNA debería ser verificable mediante estos proyectos, el presupuesto de los investigadores de la Universidad se hace por 12 meses. El presupuesto se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Presupuesto

Recurso solicitado FODEIN		
Concepto	Descripción	Monto
Personal científico	Felipe Díaz Sánchez Nivel 4 - 12 meses - 20 h/mes 180 horas - 12.5%	\$ 12'701.880
	Gerald Breek Fuenmayor Rivadeneira Nivel 1 - 12 meses - 20 h/mes 180 horas - 12.5%	\$ 7'485.240
	Juliana Alejandra Arévalo Nivel 1 - 12 meses - 20 h/mes 180 horas - 12.5%	\$ 7'485.240
	Total contrapartida facultad	\$ 27.672.3600
Auxilio a investigadores	Reconocimiento económico a estudiantes de pregrado	\$ 1.500.000
Asistentes de investigación	Reconocimiento económico a estudiantes de posgrado	\$ 900.000
Equipos	Consultar en adquisiciones y suministros para evitar duplicidad	\$ 1.500.000
Publicaciones	Artículo de revista o de conferencia	\$ 3'100.000
Servicios técnicos	Laboratorios, personas naturales	\$ 6'000.000
Movilidad académica	Eventos para socialización de avances y resultados, pasantías	\$ 5.000.000
	Recurso solicitado FODEIN	\$ 18'000.000
	Total USTA	\$ 45.672.360
Contrapartida externa Para proyectos en cooperación y alianza estratégica		
Institución	Descripción	Monto
IMT-Atlantique	Personal científico - Isabel Amigo 8 horas-mes x 9 meses	5400 euros, \$ 18'558.990 ³
	Total contrapartida externa	\$ 18'558.990
	Total proyecto	\$ 64.231.350

20. Cronograma

³ 1 euro = 3.436,85 COP tasa de cambio a septiembre 20 de 2017.

El proyecto se ha planeado con una duración total de 17 meses, desde Agosto de 2017 a Diciembre de 2018. La asignación de recursos FODEIN se establece a partir de Abril 2018.

Figura 3: Cronograma

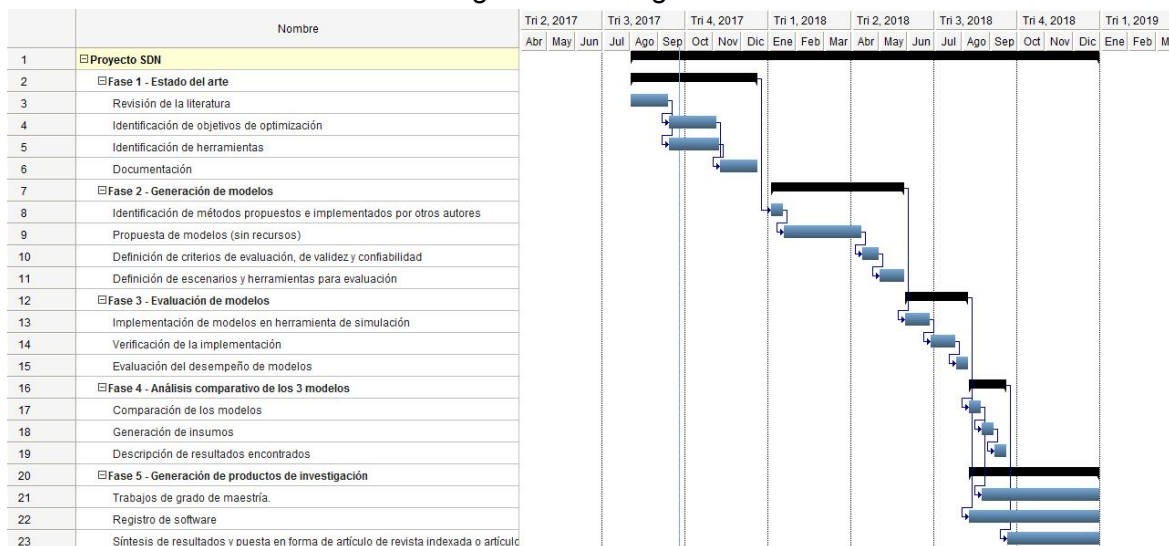


Tabla 5: Recursos asignados al proyecto

ID	Nombre	Tipo	Costo/h	Asignación al proyecto
FD	Felipe Díaz	Recurso Humano	\$ 53.000	12.5%
GF	Gerald Fuenmayor	Recurso Humano	\$ 31.200	12.5%
JA	Juliana Arévalo	Recurso Humano	\$ 31.200	12.5%
IA	Isabel Amigo	Recurso Humano	\$ 257.763	5%
EM1	Estudiante Maestría 1	Recurso Humano	\$ 1.388	15%
EM2	Estudiante Maestría 2	Recurso Humano	\$ 1.388	15%
EM3	Estudiante Maestría 3	Recurso Humano	\$ 1.388	15%
AI1	Auxiliar de Investigación 1	Recurso Humano	\$ 250	15%
AI2	Auxiliar de Investigación 2	Recurso Humano	\$ 250	15%
EQ	Equipos	Material	\$ 1.500.000	100%

Pub	Publicaciones	Material	\$ 3.100.000	100%
ST	Servicios Técnicos	Material	\$ 6.000.000	100%
MA	Movilidad Académica	Material	\$ 5.000.000	100%

Aunque el proyecto tiene una duración de 17 meses y se encuentra en curso de ejecución, cabe destacar que la financiación solicitada a FODEIN es por 9 meses, entre los meses de abril a diciembre, hay que tener en cuenta que la diferencia de \$6.900.360 se debe a que en la planificación del proyecto se usaron 9 meses y en el presupuesto se tuvo en cuenta una dedicación de los docentes por 12 meses.

Tabla 6: Distribución de recursos.

ID	Fase / Actividad	Costo	Recursos
1	Proyecto SDN	\$COP 57330990	
2	Fase 1 - Estado del arte	\$COP 0	
3	Revisión de la literatura	\$COP 0	
4	Identificación de objetivos de optimización	\$COP 0	
5	Identificación de herramientas	\$COP 0	
6	Documentación	\$COP 0	
7	Fase 2 - Generación de modelos	\$COP 7375566	
8	Identificación de métodos propuestos e implementados por otros autores	\$COP 0	
9	Propuesta de modelos (sin recursos)	\$COP 0	
10	Definición de criterios de evaluación, de validez y confiabilidad	\$COP 2905526	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%]
11	Definición de escenarios y herramientas para evaluación	\$COP 4470040	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%]
12	Fase 3 - Evaluación de modelos	\$COP 19948816	
13	Implementación de modelos en herramienta de simulación	\$COP 12625756	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%],AI1[15%],AI2[15%],EQ[1],ST[0.3],MA[1]
14	Verificación de la implementación	\$COP 4482040	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%],AI1[15%],AI2[15%]
15	Evaluación del desempeño de modelos	\$COP 2841020	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%],AI1[15%],AI2[15%],ST[0.1]

16	Fase 4 - Análisis comparativo de los 3 modelos	\$COP 10240111.2	
17	Comparación de los modelos	\$COP 4040020	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[15%],EM2[15%],EM3[15%],AI1[15%],AI2[10%],ST[0.3]
18	Generación de insumos	\$COP 2200045.6	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[3%],EM2[3%],EM3[3%],AI1[15%],AI2[10%]
19	Descripción de resultados encontrados	\$COP 4000045.6	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[3%],EM2[3%],EM3[3%],AI1[15%],AI2[10%],ST[0.3]
20	Fase 5 - Generación de productos de investigación	\$COP 19766496.8	
21	Trabajos de grado de maestría.	\$COP 375759.36	EM1[12%],EM2[12%],EM3[12%]
22	Registro de software	\$COP 10400	AI2[5%]
23	Síntesis de resultados y puesta en forma de artículo de revista indexada o artículo de conferencia	\$COP 19380337.44	FD[12.5%],GF[12.5%],JA[12.5%],IA[5%],EM1[3%],EM2[3%],EM3[3%],AI1[15%],AI2[10%],Pub[1]

21. Posibles evaluadores

César Pedraza - Investigador Junior (CvLAC - CP)

Doctor en informática - Universidad Rey Juan Carlos
 Profesor Universidad Nacional
 Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
capedrazab@unal.edu.co

Ricardo Gómez

Magister en Ing. Electrónica y de Computadores - Universidad de los Andes
 Profesor Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano
 Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones
rgomezva@poligran.edu.co

Gustavo Adolfo Puerto Leguizamon - Investigador Asociado (CvLAC - GAPL)

Doctor en telecomunicaciones - Universidad Politécnica de Valencia
 Profesor Universidad Distrital
 Facultad de Ingeniería de Electrónica
gustavo.puerto@gmail.com - gapuerto@udistrital.edu.co

22. Bibliografía

[1] B. Heller, R. Sherwood and N. McKeown, "The controller placement problem," in

Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks, 2012, pp. 7-12.

[2] M. J. Abdel-Rahman *et al*, "On stochastic controller placement in software-defined wireless networks," in 2017, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7925942>. DOI: 10.1109/WCNC.2017.7925942.

[3] Z. Zhao and B. Wu, "Scalable SDN architecture with distributed placement of controllers for WAN," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 29, (16), pp. n/a, 2017. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.4030/abstract>. DOI: 10.1002/cpe.4030.

[4] H. Wang *et al*, "Saving Energy in Partially Deployed Software Defined Networks," *Tc*, vol. 65, (5), pp. 1578-1592, 2016. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7145398>. DOI: 10.1109/TC.2015.2451662.

[5] K. He *et al*, "Latency in Software Defined Networks," *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, vol. 43, (1), pp. 435-436, 2015. . DOI: 10.1145/2796314.2745880.

[6] Y. Wei *et al*, "Energy-aware traffic engineering in hybrid SDN/IP backbone networks," *Jcn*, vol. 18, (4), pp. 559-566, 2016. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7578937>. DOI: 10.1109/JCN.2016.000079.

[7] F. Hu *et al*, "SDN-based efficient bandwidth allocation for caching enabled cognitive radio networks," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7847101>. DOI: 10.1109/TrustCom.2016.0218.

[8] S. Yi *et al*, "Maximizing network utilization for SDN based on WiseAnt colony optimization," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7828478>. DOI: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2016.0137.

[9] O. Dobrijevic, M. Santl and M. Matijasevic, "Ant colony optimization for QoE-centric flow routing in software-defined networks," in 2015, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7367371>. DOI: 10.1109/CNSM.2015.7367371.

[10] K. Zhu *et al*, "Joint admission control and routing via neuro-dynamic programming for streaming video over SDN," in 2017, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7986256>. DOI: 10.1109/IWCMC.2017.7986256.

[11] S. Lange *et al*, "Specialized heuristics for the controller placement problem in large scale SDN networks," in 2015, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7277445>. DOI: 10.1109/ITC.2015.32.

[12] S. Lange *et al*, "Heuristic Approaches to the Controller Placement Problem in Large Scale SDN Networks," *T-Nsm*, vol. 12, (1), pp. 4-17, 2015. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7038177>. DOI: 10.1109/TNSM.2015.2402432.

[13] A. Fernandez-Fernandez, C. Cervello-Pastor and L. Ochoa-Aday, "Improved energy-aware routing algorithm in software-defined networks," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7796784>. DOI: 10.1109/LCN.2016.41.

[14] P. Habibi, M. Mokhtari and M. Sabaei, "E-balance: An energy aware load balancer based on distributed OpenFlow controllers," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7585802>. DOI: 10.1109/IranianCEE.2016.7585802.

[15] P. Habibi, M. Mokhtari and M. Sabaei, "E-balance: An energy aware load balancer based on distributed OpenFlow controllers," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7585802>. DOI: 10.1109/IranianCEE.2016.7585802.

[16] A. Fernandez-Fernandez, C. Cervello-Pastor and L. Ochoa-Aday, "Improved

energy-aware routing algorithm in software-defined networks," in 2016, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7796784>. DOI: 10.1109/LCN.2016.41.

[17] Gartner Research, "beyond the hype: SDN delivers real-world benefits in mainstream enterprises," "Oct. 14, ". 2014.

[18] E. Tarazona and O. Alankar, "The controller placement problem in software defined networks," 2016.

[19] Erik Nygren, Ramesh K. Sitaraman, and Jennifer Sun. 2010. The Akamai network: a platform for high performance internet applications. SIGOPS Oper. Syst. Rev. 44, 3 (August 2010), 219. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1842733.1842736>

[20] I. F. Akyildiz, A. Lee, P. Wang, M. Luo, and W. Chou. A roadmap for traffic engineering in sdn OpenFlow networks. Comput. Netw., pages 1–30, 2014.

[21] D. G. Andersen, H. Balakrishnan, F. Kaashoek, and R. Morris. Resilient Overlay Networks. In 18th ACM SOSP, 2001.

[22] O. Brun, L. Wang, and E. Gelenbe. "Big data for autonomic intercontinental overlays". IEEE Jour. Selected Areas in Communications (special Issue on Emerging Technologies in Communications - Big data) , 34(3), March 2016.

[23] O. Brun, H. Hassan, and J. Vallet. "Scalable, self-healing, and self-optimizing routing overlays". In IFIP Networking , pages 64–72, Vienna, 2016.

[24] P. Belzarena, G. Gómez, I. Amigo, S. Vaton. SDN-based Overlay Networks for QoS-aware Routing. LANCOMM workshop, SIGCOMM 2016

[25] B. De Vleeschauwer, F. De Turck, B. Dhoedt, P. Demeester, M. Wijnants, and W. Lamotte. Endtoend QoE Optimization Through Overlay Network Deployment. In Information Networking, 2008. ICOIN 2008., Jan 2008.

[26] A. Fressancourt, M. Gagnaire. A SDN-based Network Architecture for Cloud Resiliency. Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2015 12th Annual IEEE.

[27] F. Francois, E. Gelenbe, Optimizing Secure SDN-Enabled Inter-Data Centre Overlay Networks through Cognitive Routing, IEEE 24th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems

[28] H. Zhang, L. Tang, and J. Li. Impact of Overlay Routing on EndtoEnd Delay. In Computer Communications and Networks, 2006. ICCCN 2006. 2006.

23. Anexo A. Carta de intención IMT-Atlantique



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

Unidad de Investigación

Edificio Santo Domingo,

Calle 52 # 7-11, Piso 7

Bogotá

Colombia

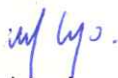
Brest, 20 de septiembre de 2017

A quien corresponda:

Por la presente certifico que quien suscribe, Isabel AMIGO docente e investigadora del departamento de informática, IMT Atlantique, Francia, participa al montaje del proyecto: Optimización de la ubicación de controladores en redes SDN.

En el caso de que el mencionado proyecto sea aprobado, IMT Atlantique participará del mismo a través de horas de investigación. Concretamente, a lo largo del proyecto Isabel AMIGO dedicará 8 horas-mes. En total la contrapartida en especie por parte de IMT Atlantique asciende a 5400 euros, lo equivalente¹ a 18,558,990.0 COP.

Sin otro particular, saluda atentamente,


Isabel Amigo

Assistant Professor

Departamento de Informática

IMT Atlantique



Département Informatique

IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

Technopôle Brest-Iroise

CS 83818

29238 BREST Cedex 03

1 - 1 Euro igual a 3436.85 Pesos Colombianos 20/09/2017.

IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire - www.imt-atlantique.fr

Campus de Brest
Technopôle Brest-Iroise
CS 83818
29238 Brest Cedex 03
T +33 (0)2 29 00 11 11
F +33 (0)2 29 00 10 00

Campus de Nantes
4, rue Alfred Kastler - La Chantrerie
CS 20722
44307 Nantes Cedex 3
T +33 (0)2 51 85 81 00
F +33 (0)2 51 85 81 99

Campus de Rennes
2, rue de la Châtaigneraie
CS 17607
35576 Cesson Sévigné Cedex
T +33 (0)2 99 12 70 00
F +33 (0)2 99 12 70 08