



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Anexo I
Estructura de Presentación de Propuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad Politécnica

**CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN

PERFIL DEL PROYECTO

1. Título del Proyecto. Investigador/a Principal y Coinvestigadores

Título del proyecto: Optimización Evolutiva Multiobjetivo para la Gestión de QoS y Consumo Energético en Redes Definidas por Software

Investigador Principal: Gerardo Riveros

Co-investigadores: Pedro Céspedes, Michel Larrieur, Jhoana Villanueva

2. Resumen del proyecto

El consumo de energía es una cuestión crítica en la operación de redes de datos, y las redes definidas por software (SDN) han surgido como una alternativa prometedora. Este artículo aborda de manera conjunta la importancia de mejorar la eficiencia energética y, al mismo tiempo, prestar atención al flujo de tráfico que se atiende, considerando también aspectos clave de la calidad de servicio (QoS), como la latencia, la pérdida de paquetes y el retardo de transmisión. Inspirado por esta problemática, este estudio presenta una propuesta para el ruteo de flujos y la asignación de estos flujos específicos a dispositivos SDN en un contexto de optimización multiobjetivo, denominada Ruteo y Asignación de Dispositivos Multiobjetivo (MoRDA, Multi-objective Routing and Device Assignment), que considera conjuntamente la eficiencia energética, el bloqueo de flujos y métricas de QoS. Este trabajo propone un enfoque basado en Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo (MOEAs) para calcular un conjunto de soluciones óptimas no dominadas. Los resultados de simulación validan que el enfoque propuesto es prometedor en comparación con otras soluciones



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
 SAN LORENZO-PARAGUAY

del estado del arte, al obtener conjuntos de Pareto eficientes con un menor costo computacional en diversas instancias de prueba.

Palabras claves: Redes Definidas por Software, Calidad de servicio, Ahorro Energético, Algoritmo Evolutivo Multiobjetivo

3. Equipo de investigadores

Nombre	Formación / grado académico	Sede/Grupo de Investigación/Carrera	Función y actividad en el proyecto
Gerardo Riveros	Ingeniero en Informática	FPUNA sede Villa Rica	Investigador Principal, encargado de la coordinación de las actividades.
Michel Larrieur	Estudiante de Ingeniería en Informática	FPUNA sede Villa San Lorenzo	Investigador Principiante
Jhoana Villanueva	Estudiante de Licenciatura en Ciencias Informáticas	FPUNA sede Villa Rica	Investigador Principiante
Pedro Céspedes	Licenciado en Análisis de Sistemas Informáticos/ Máster en Informática/Doctor en Ciencias de la Computación.		Investigador Externo

4. Área y especialidad de la propuesta

1. Ciencias naturales, 1.1 Matemática 1.7 Otras Ciencias Naturales

2. Ingeniería y Tecnología, 2.2 Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática, 2.11 Otras ingenierías, tecnologías y Sistemas de Comunicaciones

La propuesta se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 Adoptar



medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. El alto consumo de energía de las redes core y los centros de datos, contribuyen de manera indirecta a la generación de gases de efecto invernadero lo cual incide en el cambio climático. La reducción del consumo y el uso óptimo de la energía constituyen medidas a tomar en pro de la mitigación del cambio climático.

En el plan estratégico institucional tanto a nivel de universidad como de facultad, se consagra en el apartado 2.8 la vinculación del PE 2021-2025 de la UNA con el Plan Nacional de Desarrollo (PND)2030 y los ODS. El ODS 13 se encuentra enmarcado en la dimensión “Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación”. Dentro de esta misma dimensión, en el PEI de la FPUNA establece como perspectivas de procesos internos el fortalecimiento de programas y líneas de investigación, desarrollo e innovación. En cuanto a la vinculación con la sociedad a través de la extensión atendiendo al desarrollo sostenible, se expresan medidas teniendo en cuenta el desarrollo sostenible

5. Objetivos del proyecto

Objetivo general:

Identificar mecanismos multiobjetivo que mejoren la eficiencia energética, minimicen el bloqueo y optimicen métricas de calidad de servicio (QoS), como la latencia y la pérdida de paquetes, en el problema de Enrutamiento y Asignación de Dispositivos (RDA) en Redes Definidas por Software (SDN).

Objetivos específicos:

1. Desarrollar un algoritmo evolutivo multiobjetivo (MOEA) para abordar el problema de Enrutamiento y Asignación de Dispositivos (RDA) en Redes Definidas por Software (SDN), considerando de forma simultánea la eficiencia energética, el bloqueo de flujos y métricas de calidad de servicio (QoS) como la latencia y la pérdida de paquetes.
2. Evaluar el desempeño del MOEA propuesto en términos de eficiencia energética, tasa de bloqueo y cumplimiento de QoS, comparándolo con soluciones existentes del estado del arte.
3. Diseñar e implementar simulaciones de tráfico y escenarios de red representativos para probar el algoritmo en distintas topologías y niveles de carga, analizando su comportamiento frente a distintas condiciones de red y requisitos de QoS.



6. Resultados esperados y los medios para verificarlos

1. Implementación de un MOEA que genere un conjunto de soluciones no dominadas (conjunto de Pareto), optimizando simultáneamente la eficiencia energética, el bloqueo de flujos y métricas clave de calidad de servicio (QoS), como la latencia y la pérdida de paquetes. (Relacionado con el objetivo específico 1).
2. Documento técnico que valide, mediante métricas cuantitativas, que el MOEA propuesto supera a métodos del estado del arte no solo en términos de ahorro energético y reducción de bloqueos, sino también en el cumplimiento de requisitos de QoS, manteniendo un bajo costo computacional en diversas instancias de prueba. (Relacionado con el objetivo específico 2)
3. Un informe técnico con evidencia empírica que demuestre la eficacia del algoritmo ante distintas topologías de red y niveles de carga de tráfico, incluyendo análisis detallados de desempeño, impacto sobre QoS y tablas comparativas con enfoques existentes. (Relacionado con el objetivo específico 3)

7. Antecedentes y Justificación

La arquitectura SDN permite a los operadores de red tratar los flujos de manera más fina y detallada en comparación con las redes tradicionales, mediante el uso de controladores SDN[1]. Con el protocolo OpenFlow utilizado principalmente para facilitar la comunicación entre el controlador SDN y los dispositivos de red representa la mejor realización de protocolo del paradigma[2]. Su característica principal está representada por la separación física entre los planos de datos y control: en detalle, un controlador ubicado en una máquina separada se encarga de actualizar/modificar las tablas de enrutamiento de todos los nodos de red de reenvío en un cierto dominio de red. Este enfoque garantiza una configuración rápida y flexible por flujo del nivel de reenvío, en contraste con el reenvío IP tradicional[3].

Riveros y colegas [4] propusieron un modelo ILP (Integer Linear Programming, Programación Lineal Entera)) para minimizar el número de enlaces activos, tarjetas y chasis activos en SDN considerando la utilización de enlaces. Dicho trabajo no considera escenarios en los cuales se presenta saturación de los enlaces. Además, los ILP son aplicados en el contexto de planificación siendo estos enfoques no escalables cuando el número de solicitudes aumenta [5,6].

Para cargas de tráfico elevadas es necesario desarrollar técnicas de optimización basadas en meta-heurísticas. En este contexto, los GAs (Genetic Algorithms, Algoritmos Genéticos) son



meta-heurísticas conocidas por su habilidad para calcular soluciones de buena calidad en un tiempo razonable [7].

Fernández-Fernández y colegas [8] utilizaron como meta-heurística el SPEA2 [9] buscando reducir el consumo energético de una red SDN sujeto a las restricciones de latencia y ancho de banda.

Daoquan Li y colegas [10], así como Pham Tran Anh Quang y colegas [11], utilizaron el algoritmo NSGA-II para optimizar la estrategia de enrutamiento optimizando métricas QoS en redes SDN, basados en un modelo de optimización multiobjetivo.

Costa y colegas [12], utilizando el protocolo OpenFlow, evaluaron la latencia insertada en la red por switches comerciales SDN bajo varios niveles de carga, datos que se utilizó en este trabajo para obtener resultados más fiables en las simulaciones.

En este contexto una gestión energética eficiente, así como la calidad de servicio, son objetivos de diseño esenciales para cumplir con los requisitos de los sistemas de comunicaciones actuales y futuros destinados a aplicaciones y servicios. Sin embargo, algunos de estos objetivos pueden entrar en conflicto, por lo que deben desarrollarse estrategias específicas. Precisamente, el compromiso existente entre eficiencia energética y rendimiento de la red.

En el presente trabajo proponemos un enfoque de enrutamiento de flujos multiobjetivo MoRDA consciente de la energía sobre la QoS. Permitiendo reducir el consumo de energía sin degradar el servicio.

8. Materiales y Métodos

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizará un servidor Linux con 12GB de RAM, CPU AMD Ryzen 5 4600H de 3.0 GHz con sistema operativo Debian 11. El modelo MoRDA se implementará en el lenguaje de programación Python versión 3.9.2 y el marco Pymoo[13]. Las simulaciones se realizaron utilizando topologías de red realistas y cargas de tráfico tomadas de SNDlib [14].

El enfoque metodológico consistirá en desarrollar un algoritmo evolutivo multiobjetivo (MOEA) específico para el problema de Enrutamiento y Asignación de Dispositivos (RDA) en Redes Definidas por Software (SDN). Este algoritmo, denominado MoRDA, se diseñará para optimizar múltiples funciones objetivo en conflicto: la eficiencia energética, la minimización del bloqueo de



flujos y el cumplimiento de métricas clave de calidad de servicio (QoS), tales como la latencia, la pérdida de paquetes y el retardo en la transmisión.

El MoRDA será validado mediante una serie de experimentos comparativos con métodos de última generación. Para evaluar el rendimiento del algoritmo, se utilizarán métricas como el consumo de energía, el porcentaje de ahorro energético, el tráfico asignado, el tiempo de ejecución, y parámetros de QoS que permitan medir el impacto del algoritmo en la experiencia de servicio de los usuarios.

Finalmente, las simulaciones se llevarán a cabo en diferentes escenarios de carga de tráfico y topologías de red. Los resultados se analizarán para evaluar la efectividad del MOEA propuesto en términos de ahorro energético, reducción del bloqueo de flujos y cumplimiento de métricas de calidad de servicio (QoS), como latencia y pérdida de paquetes.

El análisis comparativo con métodos actuales permitirá determinar si el algoritmo ofrece ventajas competitivas. Se espera demostrar que el algoritmo propuesto no solo mejora la eficiencia energética, sino que también es escalable, eficiente en términos de tiempo de ejecución y capaz de generar soluciones de Pareto óptimas con menor costo computacional, manteniendo al mismo tiempo niveles aceptables de QoS.

9. Relevancia de la propuesta

El proyecto tiene una relevancia estratégica en varios niveles:

Impacto ambiental y alineación con el ODS 13: Al mejorar la eficiencia energética de las redes SDN, se reduce el consumo innecesario de energía en dispositivos infrautilizados, contribuyendo directamente a la disminución de la huella de carbono a nivel global y respondiendo al Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 “Acción por el Clima”, que insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Garantía de calidad de servicio (QoS): Al mismo tiempo que se optimiza el consumo energético, el proyecto incorpora mecanismos que aseguran métricas críticas de QoS —latencia, pérdida de paquetes y retardo de transmisión— de modo que la sostenibilidad no comprometa la experiencia de los usuarios ni la fiabilidad de la red.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

Beneficio económico: La reducción del gasto energético se traduce en menores facturas de electricidad para las organizaciones que adopten estas soluciones, generando ahorros de costos operativos y mejorando la competitividad.

Coherencia institucional: Este esfuerzo está plenamente alineado con el Plan Estratégico Institucional (PEI) de la UNA y de la FP-UNA, promoviendo prácticas de gestión de redes más sostenibles y eficientes, y fortaleciendo el compromiso de la institución con la innovación tecnológica responsable.

10. Plan del trabajo

Tiempo de duración en meses: seis meses

Inicio del proyecto: Primera quincena de junio

Finalización del proyecto: Segunda quincena de noviembre

Resultado esperado	Actividades principales	Indicadores de éxito	Medios de Verificación	Supuestos/ imponderables	Tiempo de ejecución (semana N°)
Conocimiento adquirido	Recopilación de Datos Análisis de la literatura disponible	Relevamiento realizado	Reporte técnico	Disponibilidad y acceso a información bibliográfica	Semana 1 al 6
Implementación Algoritmo Evolutivo Multiobjetivo	Diseño e implementación	Repositorio con códigos implementados	Reporte técnico	Falta y/o falla en la disponibilidad a los software	Semana 7 al 22
Tablas y curvas comparativas	Elaboración de pruebas y análisis de resultados	Algoritmos funcionando	Reporte técnico	Falla tecnológica	Semana 23 al 24
Documento técnico	Elaboración de informe final	Presentación informe final	Documento impreso y digital	Falla tecnológica	Semana 25 al 28

11. Presupuesto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

	Descripción del bien o servicio	Especificaciones básicas	Actividad	Subtotal Guaraníes
1	Publicación de Artículos Científicos	Editorial reconocida por scopus o similar.	Publicación de artículo en revista indexada.	Gs. 10.000.000.-
	Total			Gs. 10.000.000.-

12. Estrategia de comunicación

El proyecto realizará una actividad de difusión por medio de un Meeting a ser realizado con los estudiantes y docentes de la Sede Villarrica y el grupo de investigación del Núcleo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la FPUNA. También se presentarán los resultados de la investigación en eventos públicos organizados por DI-FPUNA y por último se pretende **publicar un artículo científico**.

13. Referencias bibliográficas

1. Keshari, S.K., Kansal, V., Kumar, S.: A systematic review of quality of services (QoS) in software defined networking (SDN). Wireless Personal Communications 116(3), 2593–2614 (2021)
2. Karakus, M., Durresi, A.: Quality of service (QoS) in software defined networking (SDN): A survey. Journal of Network and Computer Applications 80, 200–218 (2017)
3. Bolla, R., Bruschi, R., Davoli, F., Lombardo, C.: Fine-grained energy-efficient consolidation in SDN networks and devices. IEEE Transactions on Network and Service Management 12(2), 132–145 (2015)
4. Riveros, G., Cespedes-Sanchez, P.P., Pinto-Roa, D.P., Legal-Ayala, H.: ILP-based Energy Saving Routing for Software Defined Networking. In: 2019 XLV Latin American Computing Conference (CLEI). pp. 1–7.
5. IEEE (2019)Funes, J.E., Vazquez, M.E., Mendez, C., Pinto-Roa, D.P., et al.: Multicast Routing, Modulation Level and Spectrum Assignment in Elastic Optical Networks — A Genetic Algorithm-Based Approach. In: 2023 XLIX Latin American Computer Conference (CLEI). pp. 1–10. IEEE (2023)
6. Ríos, I., Bogado, C.M., Pinto-Roa, D.P., Baran, B.: A serial optimization and link-oriented based routing approach for RMLSA in elastic optical networks: A comparison among ILP based solution approaches. In: Proceedings of the 10th Latin America Networking Conference. pp. 48-55 (2018)
7. Villamayor-Paredes, M.M.R., Maidana-Benítez, L.V., Colbes, J., Pinto-Roa, D.P.: Routing, modulation level, and spectrum assignment in elastic optical networks. A route-permutation based genetic algorithms. Optical Switching and Networking 47, 100710 (2023)



8. Fernandez-Fernandez, A., Cervello-Pastor, C., Ochoa-Aday, L.: A Multi-Objective Routing Strategy for QoS and Energy Awareness in Software-Defined Networks. IEEE Communications Letters PP, 1–1 (08 2017). <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2017.2741944>
9. Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L.: Spea2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization. vol. 3242 (01 2001)
10. Li, D., Wang, X., Jin, Y., Liu, H.: Research on QoS routing method based on NSGAII in SDN. Journal of Physics: Conference Series 1656, 012027 (09 2020).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1656/1/012027>
11. Pham Tran Anh, Q., Sanner, J.M., Morin, C., Hadjadj-Aoul, Y.: Multi-objective multi-constrained QoS Routing in large-scale networks: A genetic algorithm approach. pp. 55–60 (10 2018). <https://doi.org/10.1109/SaCoNeT.2018.8585634824>
12. Costa, L.C., Vieira, A.B., de Britto e Silva, E., Macedo, D.F., Vieira, L.F., Vieira, M.A., da Rocha Miranda, M., Batista, G.F., Polizer, A.H., Gonçalves, A.V.G.S., Gomes, G., Correia, L.H.: Openflow data planes performance evaluation. Performance Evaluation 147, 102194 (2021)
13. Blank, J., Deb, K.: pymoo: Multi-Objective Optimization in Python. IEEE Access 8, 89497–89509 (2020)
14. Orłowski, S., Wess'aly, R., Pi'oro, M., Tomaszewski, A.: Sndlib 1.0—Survivable network design library. Networks: An International Journal 55(3), 276–286 (2010)