

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias del
Agro,
Ingeniería
y Tecnología

Año 17 N° 48
Enero - Abril 2026
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones educativas públicas de la Provincia Sur del Sumapaz (Colombia)

Eva Patricia Vásquez Gómez *

Jorge Enrique Quevedo Buitrago **

Diego Orlando Méndez Pineda ***

Ana Esperanza Merchán Hernández ****

Wilson Daniel Gordillo Ochoa *****

RESUMEN

El presente artículo determina las rutas de viaje más rápidas desde la Universidad de Cundinamarca (sede Fusagasugá) hacia las instituciones educativas públicas de la Provincia Sur del Sumapaz (Colombia), para optimizar la planificación de actividades extracurriculares. Se aplica la teoría de grafos, modelando la red de carreteras de la región como un grafo ponderado, siendo el peso de las aristas los tiempos de viaje entre municipios, centros poblados y veredas, obtenidos de Google Maps. Se emplea el algoritmo de Dijkstra para calcular los caminos de costo mínimo desde el nodo de origen hasta los destinos más apartados, estructurando el análisis en cuatro recorridos estratégicos, el cual permite identificar las rutas óptimas y la cuantificación de los tiempos mínimos de viaje. Como resultado, se obtiene que el tiempo de recorrido más rápido a las instituciones en Cumaca es de 59 minutos, a Bateas es de 68 minutos, a Cabrera es de 146 minutos, y a la vereda Andes es de 150 minutos, confirmando de esta manera que la teoría de grafos, aplicando el algoritmo de Dijkstra, es un método eficaz y fiable para la optimización de rutas en contextos rurales complejos, proporcionando una base cuantitativa para la planificación logística y la asignación eficiente de recursos.

PALABRAS CLAVE: Algoritmo, Matemáticas, Optimización, Gestión educativa.

* Docente, Universidad de Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-4747>. E-mail: evasquezgomez@ucundinamarca.edu.co

** Docente, Universidad de Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7442-0847> E-mail: jequevedo@ucundinamarca.edu.co

*** Docente, Universidad de Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7906-9518> E-mail: dmendezp@ucundinamarca.edu.co

**** Docente, Universidad de Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0088-7604> E-mail: anaesperanzamerchan@ucundinamarca.edu.co

***** Docente, Universidad de Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7221-4268> E-mail: wdgordillo@ucundinamarca.edu.co

Graph Theory to Optimize the Coverage Network for Public Educational Institutions in the Southern Province of Sumapaz (Colombia)

ABSTRACT

This article determines the fastest travel routes from the University of Cundinamarca (Fusagasugá campus) to public educational institutions in the southern province of Sumapaz (Colombia) to optimize the planning of extracurricular activities. Graph theory is applied, modeling the region's road network as a weighted graph, with the weight of the edges being the travel times between municipalities, population centers, and villages, obtained from Google Maps. Dijkstra's algorithm is used to calculate the minimum cost paths from the origin node to the most distant destinations, structuring the analysis into four strategic routes, which allows the identification of optimal routes and the quantification of minimum travel times. As a result, the fastest travel time to institutions in Cumaca is 59 minutes, to Bateas is 68 minutes, to Cabrera is 146 minutes, and to the village of Andes is 150 minutes, thus confirming that graph theory, applying Dijkstra's algorithm, is an effective and reliable method for route optimization in complex rural contexts, providing a quantitative basis for logistics planning and efficient resource allocation.

KEYWORDS: Algorithm, Mathematics, Optimization, Educational Management.

Introducción

En redes de transporte complejas, como las que caracterizan la geografía montañosa y la precaria infraestructura vial de Colombia, determinar la ruta más rápida no es una simple conveniencia, sino una necesidad logística fundamental. Para abordar este tipo de problemas de optimización, la teoría de grafos ofrece herramientas poderosas, siendo el algoritmo de Dijkstra una de las más esenciales.

Desarrollado por Edsger W. Dijkstra en 1956, este algoritmo encuentra la ruta de peso mínimo entre un nodo de origen y todos los demás nodos alcanzables en un grafo ponderado. Su gran adaptabilidad reside en que el "peso" puede representar no solo la distancia, sino también el costo o el tiempo de viaje. Por lo tanto, permite calcular tanto el camino más corto como el más rápido. Al generar un "árbol de caminos más cortos", el algoritmo proporciona una solución

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319 sistemática y demostrable para optimizar rutas en una amplia gama de aplicaciones, desde redes de comunicaciones hasta la planificación logística (Khan, 2020; Javaid, 2013; Rosen, 2004).

El grafo $G = (V, E)$ utilizado en este artículo es simple, donde V es el conjunto de vértices o nodos y A es el conjunto de aristas con pesos que representan los tiempos de viaje del recorrido, correspondiendo a un grafo ponderado. Los pasos del algoritmo de Dijkstra se articulan de la siguiente manera: Primero, se fija el nodo origen, dado que la ruta esperada inicia en el vértice que simboliza a la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá (FU), este se marca como visitado y su tiempo acumulado se fija en cero. Segundo, se exploran todos los vértices adyacentes al vértice FU, si estos vértices no habían sido encontrados previamente, se calculan sus tiempos desde el origen y se marcan como encontrados. Si ya habían sido encontrados, se compara el nuevo tiempo calculado con el existente y se actualiza el peso si la nueva ruta es más rápida. Tercero, de entre todos los vértices encontrados, pero aún no visitados, se elige aquel que tenga el peso mínimo para ser el próximo vértice para visitar (Lusiani et al., 2021; Méndez Martínez et al., 2014).

La aplicabilidad del algoritmo de Dijkstra trasciende la teoría computacional para ofrecer soluciones robustas a una variedad de problemas del mundo real, siendo el sector del transporte uno de los más beneficiados por su versatilidad. La literatura académica evidencia su eficacia en múltiples escenarios de optimización. Por ejemplo, en la logística empresarial, su integración con algoritmos como el de Floyd-Warshall ha permitido identificar mejoras sustanciales en la asignación de rutas, resultando en una reducción significativa de tiempos y costos (Allauca, 2023; Saxena et al., 2024). En el ámbito del transporte urbano y de pasajeros, se ha implementado para la planificación de rutas de autobuses (Chen, 2022) y la optimización de desplazamientos diarios (Nurhasanah et al., 2021), contribuyendo directamente a la eficiencia de los sistemas de movilidad. Su utilidad se extiende también a la planificación interurbana (Sari et al., 2021) y a sectores como el turismo, donde facilita el diseño de itinerarios óptimos (Fitriansyah et al., 2019).

Como se puede observar la aplicación de la teoría de grafos para modelar problemas, tiene diferentes usos en problemas de transporte. Este artículo determinará la ruta más rápida en la red de cobertura a los municipios de la Provincia Sur del Sumapaz para planificar la implementación de actividades extracurriculares desde la Universidad de Cundinamarca a

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319
municipios, centros poblados o veredas donde se encuentran ubicadas las Instituciones Educativas Públicas, algunas de ellas en zonas muy apartadas y de difícil acceso, el modelo abarca cuatro posibles recorridos utilizando el algoritmo de Dijkstra.

- Contexto

La Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, a través de sus diferentes programas académicos por medio de proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) y de interacción social universitaria (ISU), atiende necesidades educativas extracurriculares de la Provincia del Sumapaz en escuelas y colegios públicos ubicados en zonas urbanas y rurales, entre las cuales se encuentran talleres de robótica educativa para el desarrollo de habilidades STEM y pensamiento computacional en zona rural de Fusagasugá (Vásquez Gómez et al., 2025; Quevedo Buitrago et al., 2024), Pasca, Arbeláez y Silvania. Sin embargo, se ha observado que la red de cubrimiento de estas iniciativas solo llega hasta los municipios más cercanos de Fusagasugá, quedando excluida una gran parte de la población estudiantil de municipios apartados, como son Venecia, San Bernardo, Tibacuy, Pandi y Cabrera.

La implementación de proyectos en los municipios de la Provincia del Sumapaz presenta un desafío logístico significativo, justificado por las grandes distancias que se deben recorrer para llegar a las Instituciones Educativas, lo cual implica altos costos y un considerable uso del tiempo. La situación se agrava debido a la compleja geografía de la región y al mal estado de las carreteras, muchas de las cuales son vías rurales no pavimentadas que dificultan el acceso. Por esta razón, es indispensable contar con proyectos financiados que cubran el traslado del recurso humano y tecnológico, siendo necesario optimizar estos recursos, determinando rutas más eficientes que minimicen el tiempo de recorrido desde el nodo origen —la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá— hasta las Instituciones más apartadas de la provincia.

1. Metodología

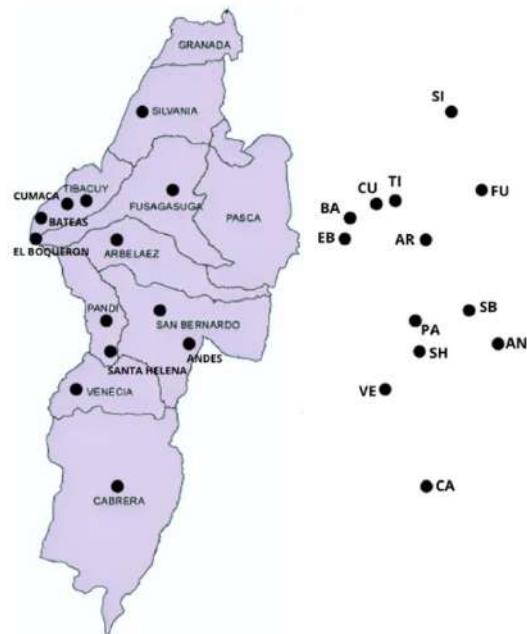
El objetivo del presente estudio es analizar las posibles rutas para visitar Instituciones Educativas Públicas de la Provincia Sur del Sumapaz con el fin de planificar la implementación de actividades extracurriculares o de formación complementaria por parte de la Universidad de Cundinamarca. En este artículo, el análisis se centra en los viajes que puedan cubrir las

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319

Instituciones Educativas incluyendo las más apartadas de la Provincia Sur como son la Institución Educativa Técnico Agropecuario Calandaima y la Institución Educativa Departamental Bateas ubicadas en el municipio de Tibacuy, la Institución Educativa Departamental Rural Santa Helena ubicada en el municipio de Pandi, la Institución Educativa Departamental Rural Andes ubicada en el municipio de San Bernardo y la Institución Educativa Departamental Integrada de Cabrera, ubicada en el municipio de Cabrera.

Inicialmente se modela la red de cobertura a los municipios, centros poblados y veredas donde se ubican las Instituciones Educativas Departamentales (IED) públicas de la Provincia del Sumapaz (nodos - Figura 1), como un grafo no dirigido $G = (V, E)$. Cada arista (u, v) tiene asignado un peso $w(u, v)$ que representa el tiempo de viaje (en minutos) entre cada par de nodos, determinando la ruta más rápida. Primero, se procesaron los datos del tiempo de viaje desde la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, hasta cada uno de los destinos, obtenidos a través de la aplicación de Google Maps. Luego, estos datos se mostraron mediante un grafo ponderado. Por último, se ejecuta el algoritmo de Dijkstra en este grafo para obtener la ruta más rápida, mediante una aplicación creada en Python para este propósito.

Figura 1. Municipios, centros poblados y veredas de la Provincia del Sumapaz



Fuente: Elaboración propia a partir de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2010)

El algoritmo de Dijkstra comienza asignándole a Fusagasugá (Fu) la etiqueta 0 y a los demás nodos la etiqueta ∞ . Se utiliza la notación $L_0(Fu) = 0$ y $L_0(v) = \infty$ para estas etiquetas antes de realizar las iteraciones. Las etiquetas son las longitudes (L) de los caminos más cortos entre Fusagasugá (Fu) y cada uno de los municipios, centros poblados o veredas, tomando el mínimo entre los caminos que sólo contienen al nodo Fusagasugá (Fu).

El algoritmo de Dijkstra seguirá añadiendo nodos formando un conjunto S_k , actualizando las etiquetas de todos los nodos que no se encuentran en el conjunto S_{k-1} , de tal forma que la etiqueta del nodo v en el paso $L_k(v)$, es la longitud de un camino de longitud mínima entre Fusagasugá (Fu) y v que contendrá los vértices del conjunto S_k (Rosen, 2004). Dado que el peso utilizado es el tiempo de viaje en lugar del kilometraje, la ruta más corta se convierte en la más rápida.

La Tabla 1 muestra el peso de cada arista, es decir, el tiempo de viaje en minutos de un lugar a otro. Por ejemplo, la arista (FU, SI) conecta la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, con el municipio de Silvania, con un tiempo de viaje entre los dos lugares de 19 minutos.

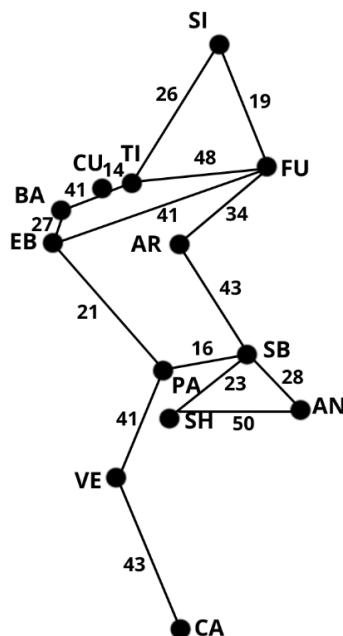
Los vértices en la Figura 2 señalan los municipios, centros poblados y veredas donde se encuentran las Instituciones Educativas a visitar para implementar actividades extracurriculares o de formación complementaria, mientras que las aristas indican el camino a recorrer. El vértice FU indica la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, como el punto de partida del recorrido y los vértices CU, BA, SH, AN, CA inscriben los lugares donde se encuentran las Instituciones Educativas más lejanas de la Provincia Sur del Sumapaz. Los vértices, SI, TI, AR, EB, PA, SB, VE representan respectivamente los otros lugares que son parte de la ruta para llegar a los lugares más apartados, con un total de 13 lugares, siendo el número de vértices que contiene el grafo y 16 aristas.

El grafo ponderado de la Figura 2, se construye a partir de los pesos del tiempo de recorrido para cada arista, que se muestra en la Tabla 1. A continuación, se especifica el método desarrollado para cada uno de los recorridos, en total cuatro, implementando el algoritmo de Dijkstra para determinar la ruta más rápida.

Tabla 1. Los pesos en el tiempo de viaje (en minutos)

Arista	Tiempo de viaje (minutos)	Arista	Tiempo de viaje (minutos)
$a_1 = (FU, SI)$	19	$a_9 = (EB, PA)$	21
$a_2 = (FU, TI)$	48	$a_{10} = (PA, VE)$	41
$a_3 = (FU, EB)$	41	$a_{11} = (VE, CA)$	43
$a_4 = (FU, AR)$	34	$a_{12} = (AR, SB)$	43
$a_5 = (SI, TI)$	26	$a_{13} = (SB, AN)$	28
$a_6 = (TI, CU)$	14	$a_{14} = (SB, PA)$	44
$a_7 = (CU, BA)$	41	$a_{15} = (SB, SH)$	23
$a_8 = (EB, BA)$	27	$a_{16} = (SH, AN)$	50

Figura 2. El grafo G ponderado que conecta los lugares de la Provincia Sur del Sumapaz

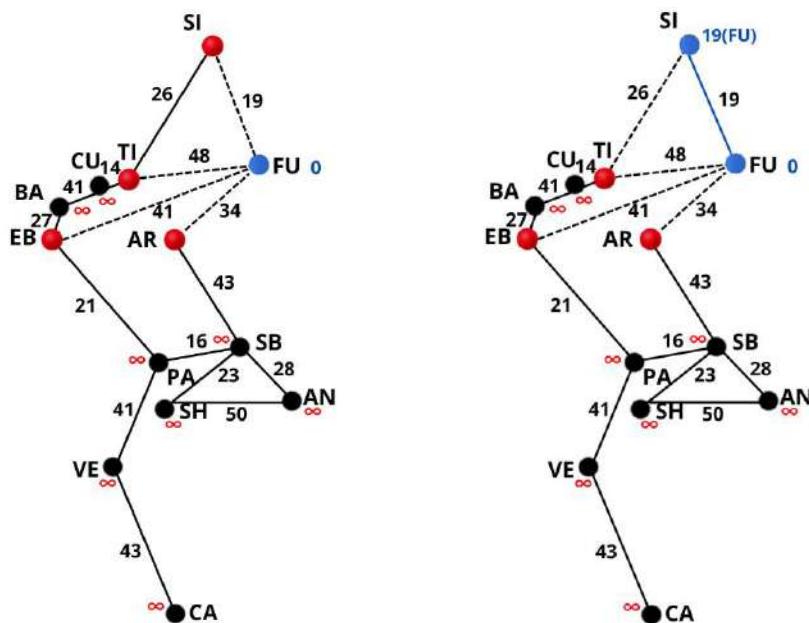


Fuente: Elaboración propia

2. Primer recorrido

En el primer recorrido se pretende alcanzar como destino final la Institución Educativa Técnico Agropecuario Calandaima, ubicada en Cumaca, Centro Poblado de Tibacuy, visitando otras instituciones que se encuentren a su paso.

Figura 3. Grafo G ponderado en el segundo y tercer paso del algoritmo de Dijkstra
(Primer recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Se ha establecido el vértice FU como el punto de partida, por lo que en la Figura 3 se colorea de azul para indicar que ya ha sido visitado. La primera fila, lado izquierdo de la Tabla 2 refleja esto, mostrando que la ruta desde el vértice FU hasta sí mismo tiene un costo de cero. A continuación, en el segundo paso, se exploran los vecinos del vértice FU, que son los vértices SI, TI, EB y AR, estos son marcados como encontrados y se colorean de rojo. Para determinar el siguiente vértice a visitar, se comparan los tiempos acumulados desde el origen: el tiempo de recorrido al vértice SI es la mínima. Por lo tanto, se elige el vértice SI como el siguiente a visitar y se colorea de azul. Este paso es detallado en la segunda fila del lado izquierdo de la Tabla 2.

Tabla 2. Estado de los vértices en el tercer paso del algoritmo de Dijkstra (Primer recorrido)

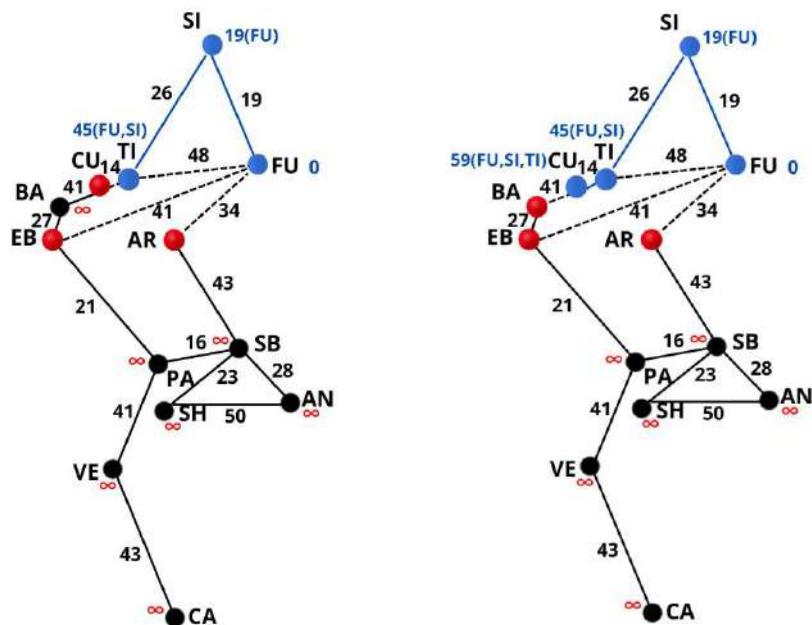
Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	NE	∞	-
SI	V	19	FU → SI	SB	NE	∞	-
TI	E	48	FU → TI	SH	NE	∞	-
AR	E	34	FU → AR	AN	NE	∞	-
EB	E	41	FU → EB	VE	NE	∞	-
CU	NE	∞	-	CA	NE	∞	-
BA	NE	∞	-				

V = Visitado, E = Encontrado, NE = Aún no encontrado

Fuente: Elaboración propia

A continuación, el proceso itera entre el segundo y tercer paso hasta alcanzar el vértice de destino.

Figura 4. Grafo G en la primera iteración del algoritmo de Dijkstra (Primer recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Las filas tres y seis del lado izquierdo de la Tabla 3 evidencia que se encontraron y visitaron los vértices TI y CU. La ruta del vértice FU al vértice CU es de FU → SI → TI → CU, con un peso total de 59 minutos, el cual se encuentra coloreado de azul (Figura 4).

Tabla 3. Estado de los vértices en la primera iteración del algoritmo Dijkstra (Primer recorrido)

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	ANE	∞	-
SI	V	19	FU → SI	SB	ANE	∞	-
TI	V	45	FU → SI → TI	SH	ANE	∞	-
AR	E	34	FU → AR	AN	ANE	∞	-
EB	E	41	FU → EB	VE	ANE	∞	-
CU	V	59	FU → SI → TI → CU	CA	ANE	∞	-
BA	E	100	FU → SI → TI → CU → BA				

V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

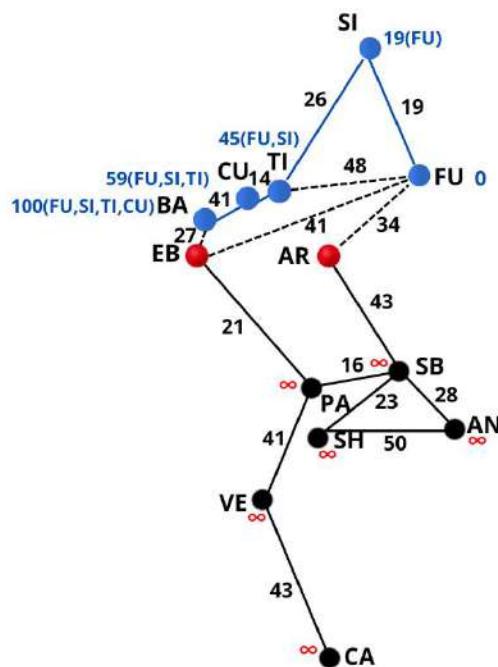
Fuente: Elaboración propia

3. Segundo recorrido

En el segundo recorrido se quiere alcanzar como destino final la Institución Educativa Departamental Bateas, ubicada en Bateas, Centro Poblado de Tibacuy. En el primer recorrido se pudo observar que se alcanzó a visitar Cumaca, Centro Poblado de Tibacuy, donde se ubica la Institución Educativa Técnico Agropecuario Calandaima, existiendo una conexión directa entre estos dos lugares CU → BA. Por lo tanto, se evaluará si a partir de este último nodo visitado existe una ruta mínima a Bateas (BA) teniendo en cuenta los tiempos acumulados desde el vértice origen (FU).

La fila siete del lado izquierdo de la Tabla 3 evidencia que se encontró y visitó el vértice BA. La ruta del vértice FU al vértice BA es de FU → SI → TI → CU → BA, con un peso total de 100 minutos, el cual se encuentra coloreado de azul (Figura 5). Sin embargo, al existir otra ruta posible para llegar a este vértice se debe evaluar para determinar si es posible encontrar una ruta más corta, que permita llegar al nodo en menos tiempo.

Figura 5. Grafo G en la segunda iteración del algoritmo de Dijkstra (Primer recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Estado de los vértices de la segunda iteración del algoritmo Dijkstra (Primer recorrido)

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	ANE	∞	-
SI	V	19	FU → SI	SB	ANE	∞	-
TI	V	45	FU → SI → TI	SH	ANE	∞	-
AR	E	34	FU → AR	AN	ANE	∞	-
EB	E	41	FU → EB	VE	ANE	∞	-
CU	V	59	FU → SI → TI → CU	CA	ANE	∞	-
BA	V	100	FU → SI → TI → CU → BA				

V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

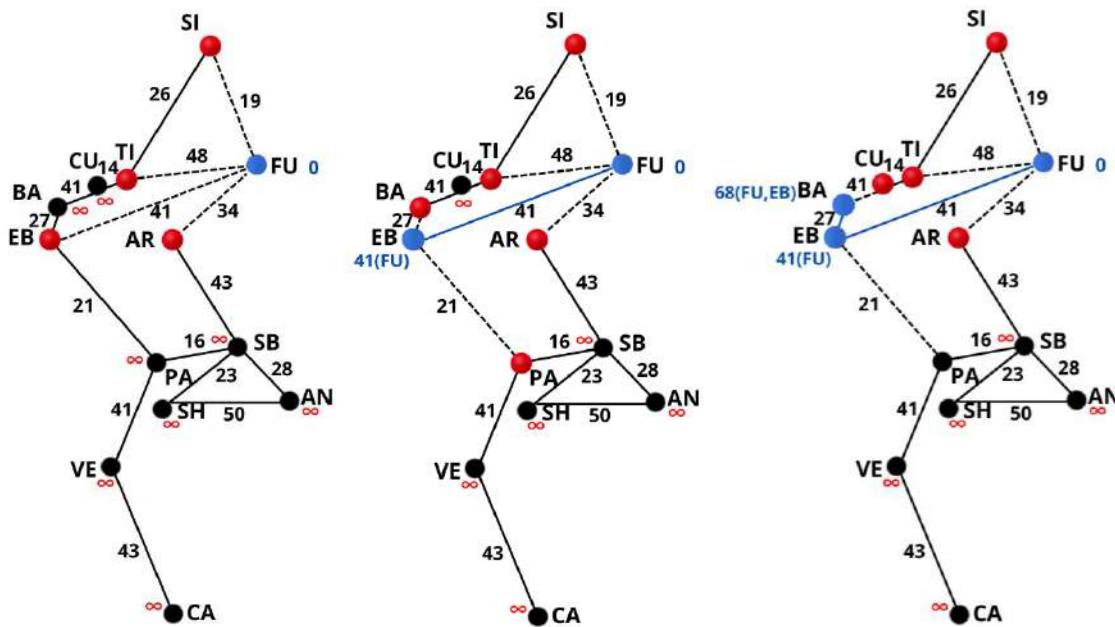
Fuente: Elaboración propia

Las otras dos posibles rutas son:

Primera ruta: FU → AR → SB → PA → EB → BA, con un peso total de 142 minutos

Segunda ruta: FU → EB → BA, con un peso total de 68 minutos (Figura 6).

Figura 6. Grafo G ponderado del algoritmo de Dijkstra (Segundo recorrido)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el resultado de la segunda ruta establecida, tomando el vértice FU como punto de partida, se compara el tiempo recorrido obtenido en la Tabla 4 FU → SI → TI → CU → BA, con un peso total de 100 minutos, con la ruta FU → EB → BA, con un peso total de 68 minutos, el cual se encuentra coloreado de azul en la Figura 6, siendo esta última la más rápida para llegar del vértice FU al vértice BA donde se encuentra la Institución Educativa Departamental Bateas. Este paso es detallado en la primera fila del lado derecho de la Tabla 5.

Tabla 5. Estado de los vértices del algoritmo de Dijkstra (Segundo recorrido)

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	E	62	FU→EB→PA
SI	E	19	FU→SI	SB	ANE	∞	-
TI	E	48	FU→TI	SH	ANE	∞	-
AR	E	34	FU→AR	AN	ANE	∞	-
EB	V	41	FU→EB	VE	ANE	∞	-
CU	E	59	FU→SI→TI→CU	CA	ANE	∞	-
BA	V	68	FU→EB→BA				

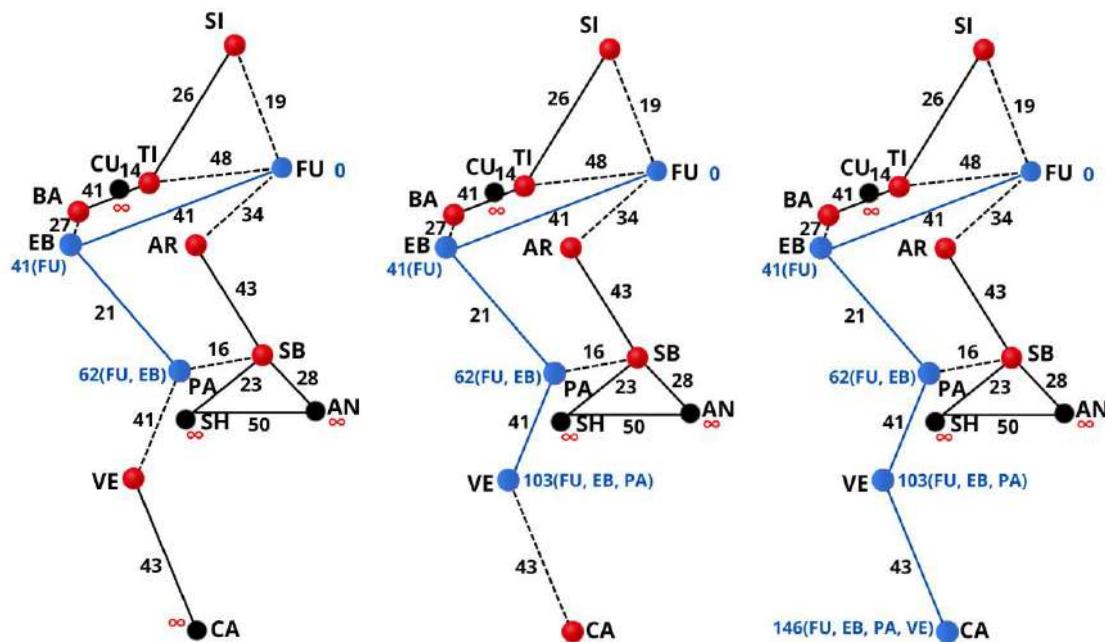
V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

Fuente: Elaboración propia

4. Tercer recorrido

En el tercer recorrido se pretende alcanzar como destino final la Institución Educativa Departamental Integrada De Cabrera, ubicada en el municipio de Cabrera. En el segundo recorrido se pudo advertir que se alcanzó a visitar el lugar El Boqueron (EB), como un punto de paso para ir a Bateas donde se encuentra la Institución Educativa Departamental Bateas. Por lo tanto, se evaluará si a partir del nodo EB que ya fue visitado existe una ruta mínima que continua hacia el municipio de Cabrera (CA) teniendo en cuenta los tiempos acumulados desde el vértice origen (FU).

Figura 7. Grafo G ponderado del algoritmo Dijkstra (Tercer recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el siguiente vértice a visitar, a partir del vértice EB que ya había sido visitado en el segundo recorrido, se comparan los tiempos acumulados desde el origen, descartando la ruta del primer recorrido FU → SI → TI → CU → BA → EB → PA → VE → CA,

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319 con un peso de total de 232 minutos, y la ruta 1 del segundo recorrido, agregando los vértices PA, VE y CA, ruta FU → AR → SB → PA → VE → CA, con un peso total de 177 minutos, quedando finalmente la ruta de la Figura 7, FU → EB → PA → VE → CA, con un peso total de 146 minutos, siendo la mínima entre las tres posibilidades, coloreándola en azul. Este paso es detallado en la fila 6 del lado derecho de la Tabla 6.

Tabla 6. Estado de los vértices del algoritmo de Dijkstra (Tercer recorrido)

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	V	62	FU → EB → PA
SI	E	19	FU → SI	SB	E	78	FU → EB → PA → SB
TI	E	48	FU → TI	SH	ANE	∞	-
AR	E	34	FU → AR	AN	ANE	∞	-
EB	V	41	FU → EB	VE	V	103	FU → EB → PA → VE
CU	ANE	∞	-	CA	V	146	FU → EB → PA → VE → CA
BA	E	68	FU → EB → BA				

V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

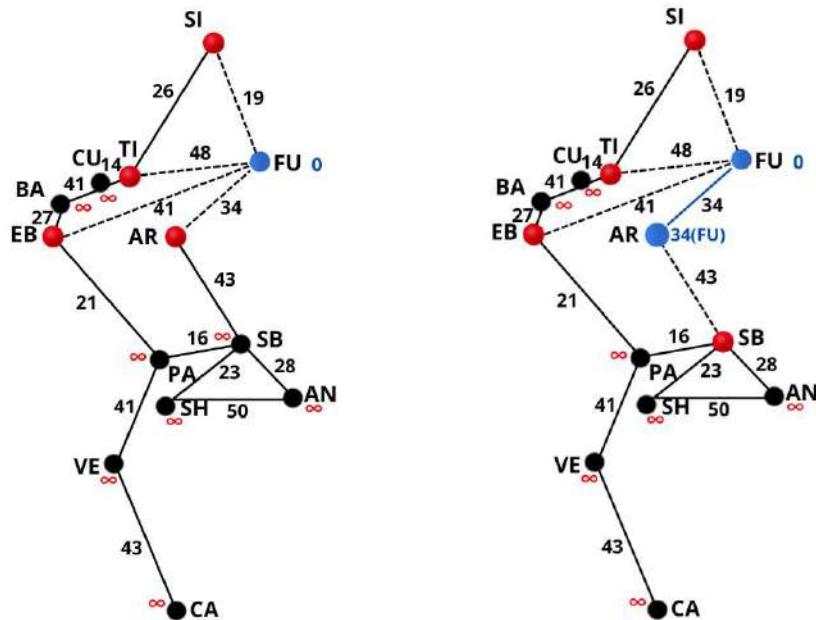
Fuente: Elaboración propia

5. Cuarto recorrido

En el cuarto recorrido se proyecta alcanzar como destino final las Instituciones Educativas Rurales Departamentales Andes, ubicada en el municipio de San Bernardo y Santa Helena, ubicada en el municipio de Pandi.

Al explorar nuevamente los vecinos del vértice FU, el cual es el punto de partida, se determina que el siguiente vértice a visitar es AR y se colorea de azul (Figura 8). Este paso es detallado en la cuarta fila del lado izquierdo de la Tabla 7.

Figura 8. Grafo G ponderado en el segundo y tercer paso del algoritmo de Dijkstra (Cuarto recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Estado de los vértices en el tercer paso del algoritmo de Dijkstra (Cuarto recorrido)

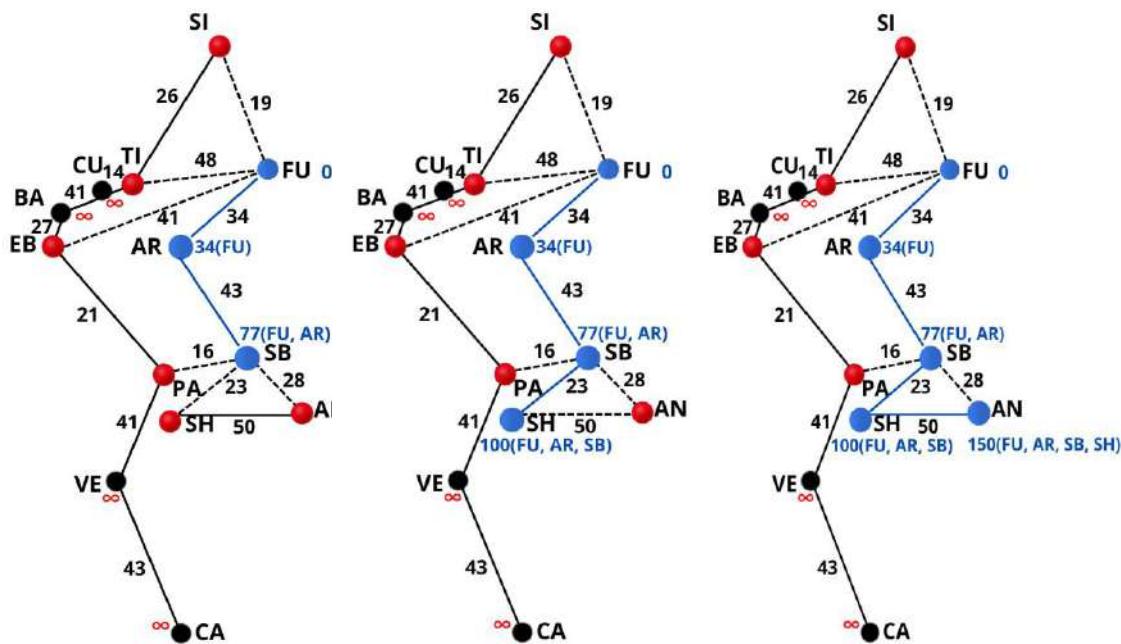
Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	ANE	∞	-
SI	E	19	FU → SI	SB	E	77	FU → AR → SB
TI	E	48	FU → TI	SH	ANE	∞	-
AR	V	34	FU → AR	AN	ANE	∞	-
EB	E	41	FU → EB	VE	ANE	∞	-
CU	ANE	∞	-	CA	ANE	∞	-
BA	ANE	∞	-				

V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

Fuente: Elaboración propia

A continuación, el proceso itera entre el segundo y tercer paso hasta alcanzar el vértice de destino.

Figura 9. Grafo G ponderado del algoritmo de Dijkstra (Cuarto recorrido)



Fuente: Elaboración propia

Las tercera y cuarta fila del lado derecho de la Tabla 8 evidencia que se encontraron y visitaron los vértices SH y AN. La ruta del vértice FU al vértice SH es de FU → AR → SB → SH, con un peso total de 100 minutos, y continuando al vértice AN la ruta establecida es FU → AR → SB → SH → AN, con un peso total de 150 minutos, el cual se encuentra coloreado de azul en la Figura 9.

Tabla 8. Los estados de los vértices del algoritmo Dijkstra (Cuarto recorrido)

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	E	93	FU → AR → SB → PA
SI	E	19	FU → SI	SB	V	77	FU → AR → SB
TI	E	48	FU → TI	SH	V	100	FU → AR → SB → SH
AR	V	34	FU → AR	AN	V	150	FU → AR → SB → SH → AN
EB	E	41	FU → EB	VE	ANE	∞	-
CU	ANE	∞	-	CA	ANE	∞	-
BA	ANE	∞	-				

V = Visitado, E = Encontrado, ANE = Aún no encontrado

Fuente: Elaboración propia

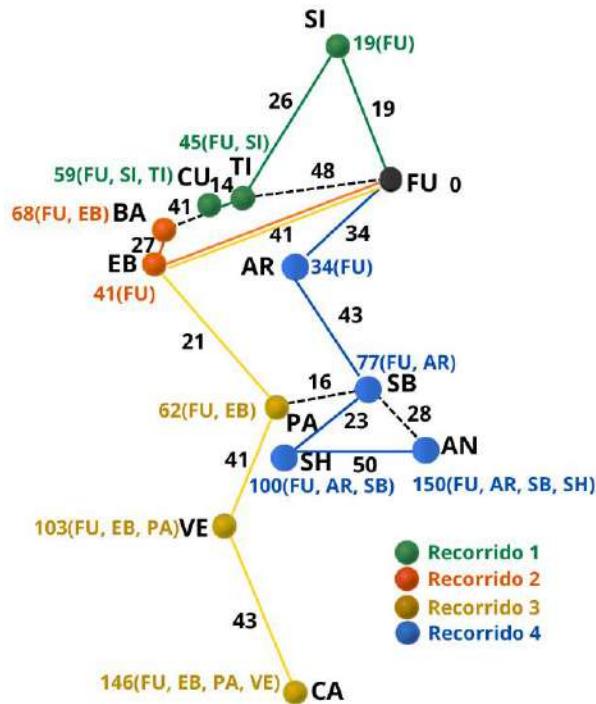
5. Resultados

La iteración final se ejecuta para determinar la ruta desde el vértice FU hasta los vértices destino: Primer recorrido, vértice CU; Segundo recorrido, vértice BA; Tercer recorrido, vértice CA; y Cuarto recorrido, vértices SH y AN. En esta fase, la ruta encontrada en cada uno de los recorridos es:

- Recorrido 1, FU → SI → TI → CU, con un tiempo de viaje total de 59 minutos;
- Recorrido 2, FU → EB → BA, con un tiempo de viaje total de 68 minutos;
- Recorrido 3, FU → EB → PA → VE → CA, con un tiempo de viaje total de 146 minutos;
- Recorrido 4, FU → AR → SB → SH → AN, con un tiempo de viaje total de 150 minutos.

Tal como se detalla en la Tabla 9, se evidencia que los vértices CU, BA, CA, SH y AN son los destinos finales, y se confirma que las rutas anteriores son las más rápidas en cada recorrido. Esta fase final se ilustra en la Figura 10.

Figura 10. Grafo G en el último paso del algoritmo de Dijkstra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resumen de los estados de los vértices en el último paso del algoritmo Dijkstra en cada recorrido

Vértice	Estado	Peso	Ruta	Vértice	Estado	Peso	Ruta
FU	V	0	FU	PA	V	62	FU → EB → PA
SI	V	19	FU → SI	SB	V	77	FU → AR → SB
TI	V	48	FU → TI	SH	V	100	FU → AR → SB → SH
AR	V	34	FU → AR	AN	V	150	FU → AR → SB → SH → AN
EB	V	41	FU → EB	VE	V	103	FU → EB → PA → VE
CU	V	59	FU → SI → TI → CU	CA	V	146	FU → EB → PA → VE → CA
BA	V	68	FU → EB → BA				

V = Visitado, E = Encontrado, NE = Aún no encontrado

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La optimización de la ruta mediante el Algoritmo de Dijkstra permite obtener el camino más rápido en tiempo, definiendo una secuencia de aristas que pertenecen al grafo ponderado, cuya suma de los pesos (tiempo total) es mínima. Como resultado de esta optimización, las rutas más rápidas en cada uno de los recorridos desde la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, hasta los municipios, centros poblados o veredas donde se ubican las Instituciones Educativas más lejanas, pasando por lugares intermedios donde también es viable visitar otras instituciones quedaron de la siguiente manera:

En el primer recorrido el primer municipio a visitar en Silvania (SI), donde se encuentra la Institución Educativa Departamental Santa Inés, luego, se avanza al municipio de Tibacuy (TI), donde se puede visitar la Institución Educativa Departamental Técnico Comercial De Tibacuy, y por último, se llega a Cumaca (CU), centro poblado de Tibacuy, donde se encuentra el destino final del primer recorrido, la Institución Educativa Técnico Agropecuario Calandaima, con una duración total de 59 minutos.

En el segundo recorrido, aunque Cumaca (CU) conecta directamente con Bateas (BA), se había descartado continuar hasta Bateas en la ruta uno por el tiempo de viaje que representa (41 minutos entre estos puntos – 110 minutos en total), por lo cual, se buscó una ruta alterna, pasando por El Boqueron (EB), y llegando a la Institución Educativa Departamental Bateas, ubicada en Bateas, centro poblado de Tibacuy, con una duración total de 68 minutos.

En el tercer recorrido, se pasa por El Boqueron (EB), luego se visita el municipio de Pandi (PA), donde se ubica la Institución Educativa Departamental Francisco José De Caldas, para luego continuar hacia el municipio de Venecia (VE), visitando Institución Educativa Departamental Venecia, para llegar al destino final en el municipio de Cabrera (CA), donde se encuentra la Institución Educativa Departamental Integrada De Cabrera, con una duración total de 146 minutos.

En el recorrido cuatro, el primer municipio a visitar es Arbeláez (AR), donde se ubican cerca del perímetro urbano la Institución Educativa Departamental John F. Kennedy y la

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319

Institución Educativa Departamental Kirpalamar, avanzando luego al municipio de San Bernardo (SB), en el cual se puede visitar la Institución Educativa Departamental Escuela Normal Superior y la Institución Educativa Departamental San Bernardo, ambas ubicadas cerca de la zona urbana de San Bernardo, para finalizar con las instituciones más lejanas que se encuentran en zona rural de San Bernardo (SB) y Pandi (PA), visitando primero la Institución Educativa Departamental Rural Santa Helena (vereda de Pandi) y por último, Institución Educativa Rural Departamental Andes (vereda de San Bernardo), entre estos dos puntos existe un tiempo de viaje de 50 minutos por la mala condición de la vía, siendo una carretera no pavimentada, el tiempo total de viaje es de 150 minutos, aun así es la mejor opción, teniendo en cuenta que la otra alternativa es ir de vuelta al municipio de San Bernardo y desplazarse a la otra institución rural implicaría un tiempo adicional de viaje. Aunque la Institución Educativa Departamental Rural Santa Helena pertenece al municipio de Pandi, no existe una vía en condiciones óptimas para llegar desde el municipio de Pandi hasta la institución, por lo cual se debe llegar por el municipio de San Bernardo. Se aclara que los tiempos de viaje definidos en cada recorrido no incluye el tiempo de duración de la visita en cada una de las instituciones. En conclusión, se confirma que el Algoritmo de Dijkstra es un método eficaz y fiable para resolver problemas de optimización de rutas.

Referencias

Allauca, J. E. (2023). Aplicación de la teoría de grafos en la optimización de redes de transporte. Revista CINTE Volumen 1, Núm. 1, septiembre - octubre (2023). ISSN - 2960-8449. <https://cienciainteligente.com/index.php/CIN/article/view/10>

Cámara de Comercio de Bogotá (2010). Plan de Competitividad para la Provincia del Sumapaz. ISBN: 978-958-688-298-9. <https://bit.ly/46ZHArN>

Chen, R. (2022). Dijkstra's shortest path algorithm and its application on bus routing. En *Proceedings of the 2022 8th International Conference on Economics, Business and Management Research (ICEBMR 2022)* (pp. 370-374). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220502.058>

Fitriansyah, A., Parwati, N., Wardhani, D., & Kustian, N. (2019). Dijkstra's algorithm to find shortest path of tourist destination in Bali. *Journal of Physics: Conference Series*, 1338(1), Article 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1338/1/012044>

E.P. Vásquez Gómez et al// Teoría de grafos para optimizar la red de cobertura a instituciones... 298-319

Javaid, A. (2013). Understanding Dijkstra's Algorithm. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2340905>

Khan, M. A. (2020). A comprehensive study of Dijkstra's algorithm. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4559304>

Lusiani, A., Sartika, E., Binarto, A., Habinuddin, E., & Azis, I. (2021). Determination of the fastest path on logistics distribution by using Dijkstra algorithm. En *Proceedings of the 5th Annual Engineering Research Seminar (AER-S)* (pp. 235-241). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.039>

Méndez Martínez, L., Rodríguez Colina, E., y Medina Ramírez., C. (2014). Toma de Decisiones Basadas en el Algoritmo de Dijkstra. *Redes de Ingeniería*, 4(2), 35-42. <https://doi.org/10.14483/2248762X.6357>

Nurhasanah, F. Y., Gata, W., Riana, D., Jamil, M., & Saputra, S. F. (2021). Shortest Path Finding Using Dijkstra's Algorithm. *PIKSEL : Penelitian Ilmu Komputer Sistem Embedded and Logic*, 9(1), 89-102. <https://doi.org/10.33558/piksel.v9i1.2365>

Quevedo Buitrago, J. E., Vásquez Gómez, E.P., Merchán Hernández, A. E. & Méndez Pineda, D. O. (2024). Aplicación de robótica educativa en niños de grados cero, primero y segundo de primaria en escuelas rurales de Fusagasugá. Desafíos Contemporáneos en Investigación (pp. 306 – 319). EIDEC. <https://doi.org/10.34893/r8546-1235-1309-u>

Rosen, K. H. (2004). Matemática discreta y sus aplicaciones. McGraw-Hill.

Sari, I. P., Fahroza, M. F., Mufit, M. I., & Qathrunada, I. F. (2021). Implementation of Dijkstra's algorithm to determine the shortest route in a city. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering (JCoSITTE)* Vol. 2, No. 1, March 2021, pp. 134-138. <https://doi.org/10.30596/jcositte.v2i1.6503>

Saxena, A., V, A., Lalitha, G., Khangar, V., Kumar, P., Tyagi, L., & Almusawi, M. (2024). Expanding horizons: Graph theory's multifaceted applications. *E3S Web of Conferences*, 507, Article 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450701015>

Vásquez Gómez, E. P., Quevedo Buitrago, J. E., Merchán Hernández, A. E., & Méndez Pineda, D. O. (2025). Robótica educativa para o desenvolvimento do pensamento computacional: um estudo numa escola rural da Colômbia. *Revista Portuguesa De Educação*, 38(2), e25021. <https://doi.org/10.21814/rpe.36792>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La *Revista de la Universidad del Zulia* declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia Creative Commons

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional



REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 31 de mayo de 1947

UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 11 de septiembre de 1891