

ANALISIS DE RUTA ALIMENTADORA 9-10 TRANSMILENIO POR MEDIO DE TPS (AGENTE VIAJERO)

Nicolás Borrero Puentes ¹, Estefanía Patarroyo Alarcón ², Karen Angélica Salgado Turmequé ³, Oscar Mauricio Gelves Alarcón⁴

RESUMEN.

En este documento se presenta el análisis de la ruta alimentadora 9-10 Transmilenio teniendo como herramienta principal el agente viajero TPS y con ello establecer si con esta técnica es posible encontrar una ruta más eficiente en términos de distancia que cumplan con los paraderos programados por Transmilenio para esta ruta, para ello se formula un programa lineal basándose en las restricciones y parámetros que tiene el sistema, cabe recordar que la medida de eficiencia es en términos de distancia sin tener en cuenta estado del tráfico y la demanda que contiene la ruta alimentadora.

Palabras clave: *TPS (Problema del Agente Viajero), Programación lineal, Grafos, SITP, Transmilenio, Alimentador.*

Recibido: xx de febrero de 20xx. Aceptado: xx de Junio de 20xx
Received: February xx, 20xx Accepted: June xx, 20xx

TÍTULO DEL ARTÍCULO EN INGLÉS.

ANALYSIS OF ROUTER 9-10 OF TRANSMILENIO WITH TPS (TRAVELLING SALESMAN PROBLEM)

ABSTRACT.

This document presents the analysis of the 9-10 Transmilenio feeder route, with the TPS traveler agent as the main tool, and thus establish if with this technique it is possible to find a more efficient route in terms of distance that comply with the stops programmed by Transmilenio for this route, for this a linear program is formulated based on the restrictions and parameters that the system has, it should be remembered that the measure of efficiency is in terms of distance without taking into account the state of the traffic and the demand contained in the feeder route.

Keywords: *TPS (Traveler Agent Problem), Linear Programming, Graphs, SITP, Transmilenio, Alimentador.*

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro del marco del mejoramiento del tráfico de las ciudades la investigación de operaciones ha sido una herramienta fundamental para el diseño de rutas de vehículos entre los diferentes algoritmos que se han utilizado como el de la ruta más corta, árbol de mínima expansión, Flujo máximo, El problema del agente viajero (TPS), VRP y sus diferentes aristas, estos métodos se han aplicado según la situación o problemática del transporte. Para el desarrollo del artículo se ha presentado la problemática de la ruta alimentadora 9-10 del sistema integrado de transporte de la ciudad Bogotá D.C, para ello se ha aplicado la herramienta TPS, ya que esta cumple los parámetros que solicita el problema en la cual se debe visitar todos los nodos solicitados con la menor distancia posible.

2. MARCO TEÓRICO.

La investigación de operaciones ha sido una de las herramientas principales para mejorar las condiciones de tráfico, varias técnicas se han utilizado para ello como la programación lineal, la teoría de grafos, TPS (sales Travelling Problem), algoritmos genéticos, etc. Según (Salazar López 2019) el Problema del Agente Viajero - TSP (Travelling Salesman Problem), tiene como objetivo encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta, o el tiempo total del recorrido.

Este tipo de problemas tiene gran aplicación en el ámbito de la logística y distribución, así como en la programación de curvas de producción.

El problema del agente viajero tiene una variación importante, y esta depende de que las distancias entre un nodo y otro sean simétricas o no, es decir, que la distancia entre A y B sea igual a la distancia entre B y A, puesto que en la práctica es muy poco probable que así sea.

La cantidad de rutas posibles en una red está determinada por la ecuación: $(n-1)!$

Es decir que en una red de 5 nodos la cantidad de rutas probables es igual a $(5-1)! = 24$, y a medida que el número de nodos aumenta la cantidad de

rutas posibles crece factorialmente. En el caso de que el problema sea simétrico la cantidad de rutas posibles se reduce a la mitad, es decir: $(n-1)! / 2$. Lo cual significa un ahorro significativo en el tiempo de procesamiento de rutas de gran tamaño. Entre los métodos de solución, se cuenta que este cálculo del problema del agente viajero ha despertado múltiples iniciativas por mejorar la eficiencia en el cálculo de rutas. El método más básico es el conocido con el nombre de fuerza bruta, que consiste en el cálculo de todos los posibles recorridos, lo cual se hace extremadamente ineficiente y casi que se imposibilita en redes de gran tamaño. También existen heurísticos que se han desarrollado por la complejidad en el cálculo de soluciones óptimas en redes robustas, es por ello que existen métodos como el vecino más cercano, la inserción más barata y el doble sentido. Por último se encuentran los algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, como el método de branch and bound (ramificación y poda), que trabaja el problema como un algoritmo de asignación y lo resuelve por medio del método simplex.

3. METODOLOGIA.

Para el análisis de la ruta 9-10 se accedió a la página de Transmilenio para determinar el recorrido y paradas de esta ruta (figura 1)



Figura 1 Ruta alimentadora 9-10 Roma. Fuente: (Mi ruta fácil, 2019)

Por medio de la herramienta Google Maps se determinó la distancia aproximada entre los diferentes paraderos y con ello se forma la red correspondiente (figura 2)

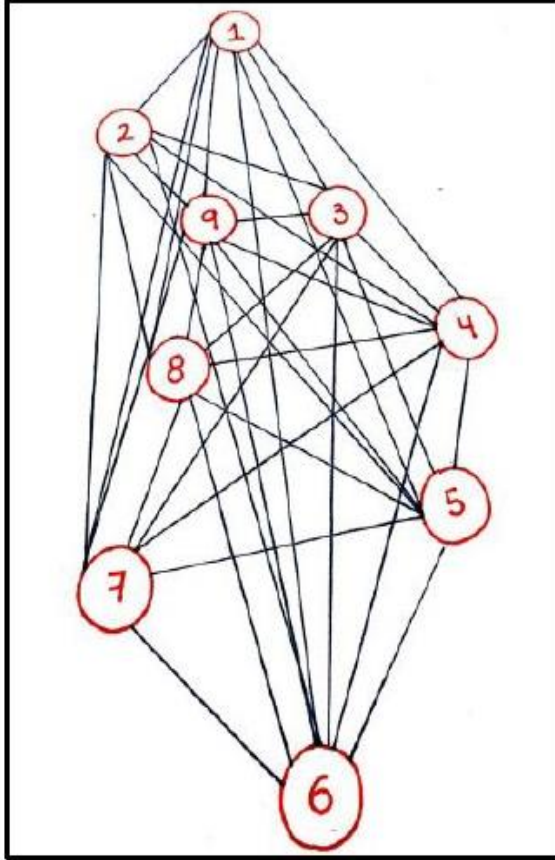


Figura N 2 "Red actual de ruta 9-10"

Con esta red se formula el programa lineal para este caso y se procede a resolver el problema por medio de solver evolutionary. Con estos resultados se determina la mejor ruta para unir todos los nodos con la menor distancia posible.

4. RESULTADOS

A continuación, se define el modelo de programación lineal para este caso:

Nodos.	Paradas.
1	Portal Américas.
2	Carrera 85 - Calle 51A Sur
3	Calle 49 Sur Carrera 81D
4	Carrera 80H - Calle 51A Sur
5	Calle 57A Sur Carrera 79
6	Carrera 79 Calle 57I Sur
7	Calle 58 Sur Carrera 78I
8	Carrera 78H Calle 57B
9	Carrera 79 Calle 55A Sur

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Existe un camino del origen } i=1,2,3,4,5,6,7,8,9 \text{ al destino } j=1,2,3,4,5,6,7,8,9 \\ 0, & \text{No existe} \end{cases}$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 850X_{1,2} + 1100X_{1,3} + 1600X_{1,4} + 2900X_{1,5} + 3100X_{1,6} + 3400X_{1,7} + 3200X_{1,8} \\ & + 2800X_{1,9} + 950X_{2,1} + 700X_{2,3} + 850X_{2,4} + 2000X_{2,5} + 2200X_{2,6} + 2500X_{2,7} \\ & + 2300X_{2,8} + 1800X_{2,9} + 1700X_{3,1} + 800X_{3,2} + 500X_{3,4} + 1700X_{3,5} + 2000X_{3,6} \\ & + 2300X_{3,7} + 2100X_{3,8} + 1500X_{3,9} + 1800X_{4,1} + 850X_{4,2} + 500X_{4,3} + 1200X_{4,5} \\ & + 1500X_{4,6} + 1800X_{4,7} + 1600X_{4,8} + 1000X_{4,9} + 3100X_{5,1} + 2200X_{5,2} \\ & + 1700X_{5,3} + 1700X_{5,4} + 260X_{5,6} + 550X_{5,7} + 350X_{5,8} + 180X_{5,9} + 3200X_{6,1} \\ & + 2300X_{6,2} + 2000X_{6,3} + 1500X_{6,4} + 260X_{6,5} + 240X_{6,7} + 550X_{6,8} + 450X_{6,9} \\ & + 3500X_{7,1} + 2500X_{7,2} + 2300X_{7,3} + 1800X_{7,4} + 550X_{7,5} + 290X_{7,6} + 400X_{7,8} \\ & + 700X_{7,9} + 3300X_{8,1} + 2300X_{8,2} + 2100X_{8,3} + 1600X_{8,4} + 350X_{8,5} + 550X_{8,6} \\ & + 400X_{8,7} + 500X_{8,9} + 2800X_{9,1} + 1800X_{9,2} + 1600X_{9,3} + 1100X_{9,4} + 180X_{9,5} \\ & + 450X_{9,6} + 700X_{9,7} + 500X_{9,8} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X_{1,2} + X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} + X_{1,7} + X_{1,8} + X_{1,9} &= 1 \\ X_{2,1} + X_{2,3} + X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6} + X_{2,7} + X_{2,8} + X_{2,9} &= 1 \\ X_{3,1} + X_{3,2} + X_{3,4} + X_{3,5} + X_{3,6} + X_{3,7} + X_{3,8} + X_{3,9} &= 1 \\ X_{4,1} + X_{4,2} + X_{4,3} + X_{4,5} + X_{4,6} + X_{4,7} + X_{4,8} + X_{4,9} &= 1 \\ X_{5,1} + X_{5,2} + X_{5,3} + X_{5,4} + X_{5,6} + X_{5,7} + X_{5,8} + X_{5,9} &= 1 \\ X_{6,1} + X_{6,2} + X_{6,3} + X_{6,4} + X_{6,5} + X_{6,7} + X_{6,8} + X_{6,9} &= 1 \\ X_{7,1} + X_{7,2} + X_{7,3} + X_{7,4} + X_{7,5} + X_{7,6} + X_{7,8} + X_{7,9} &= 1 \\ X_{8,1} + X_{8,2} + X_{8,3} + X_{8,4} + X_{8,5} + X_{8,6} + X_{8,7} + X_{8,9} &= 1 \\ X_{9,1} + X_{9,2} + X_{9,3} + X_{9,4} + X_{9,5} + X_{9,6} + X_{9,7} + X_{9,8} &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{2,1} + X_{3,1} + X_{4,1} + X_{5,1} + X_{6,1} + X_{7,1} + X_{8,1} + X_{9,1} &= 1 \\ X_{1,2} + X_{3,2} + X_{4,2} + X_{5,2} + X_{6,2} + X_{7,2} + X_{8,2} + X_{9,2} &= 1 \\ X_{1,3} + X_{2,3} + X_{4,3} + X_{5,3} + X_{6,3} + X_{7,3} + X_{8,3} + X_{9,3} &= 1 \\ X_{1,4} + X_{2,4} + X_{3,4} + X_{5,4} + X_{6,4} + X_{7,4} + X_{8,4} + X_{9,4} &= 1 \\ X_{1,5} + X_{2,5} + X_{3,5} + X_{4,5} + X_{6,5} + X_{7,5} + X_{8,5} + X_{9,5} &= 1 \\ X_{1,6} + X_{2,6} + X_{3,6} + X_{4,6} + X_{5,6} + X_{7,6} + X_{8,6} + X_{9,6} &= 1 \\ X_{1,7} + X_{2,7} + X_{3,7} + X_{4,7} + X_{5,7} + X_{6,7} + X_{8,7} + X_{9,7} &= 1 \\ X_{1,8} + X_{2,8} + X_{3,8} + X_{4,8} + X_{5,8} + X_{6,8} + X_{7,8} + X_{9,8} &= 1 \\ X_{1,9} + X_{2,9} + X_{3,9} + X_{4,9} + X_{5,9} + X_{6,9} + X_{7,9} + X_{9,9} &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_i - U_j + 9X_{ij} &\leq 8 \\ X_{ij} &\text{ es } 1 \text{ or } 0 \end{aligned}$$

Para la determinación del modelo se tomaron las distancias correspondientes entre los nodos basándose en las distancias proporcionadas por la herramienta Google Maps.

	1 (Portal Américas)	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (Portal Américas)	0	850	1100	1600	2900	3100	3400	3200	2800
2	950	0	700	850	2000	2200	2500	2300	1800
3	1700	800	0	500	1700	2000	2300	2100	1500
4	1800	850	500	0	1200	1500	1800	1600	1000
5	3100	2200	1700	1400	0	260	550	350	180
6	3200	2300	2000	1500	260	0	240	550	450
7	3500	2500	2300	1800	550	290	0	400	700
8	3300	2300	2100	1600	350	550	400	0	500
9	2800	1800	1600	1100	180	450	700	500	0

Tabla N 1 distancias entre nodos

Según los resultados del Solver Evolutionary se genera la siguiente solución:

Nodos	Distancia
1	850
3	1100
4	500
9	1000
5	180
6	260
7	240
8	400
2	2300
Total	6830

Tabla N 2 Resultado de ruta en solver evolutionary

La descripción de la red óptima resultado del Solver Evolutionary es la siguiente:

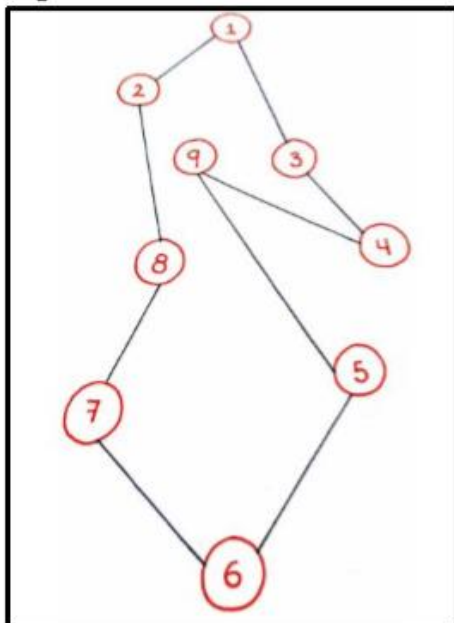


Figura N 3 Red de Nodos propuesta por Solver Evolutionary.

5. CONCLUSIONES.

- Con la nueva ruta obtenida se disminuyó en un 8,32% el trayecto recorrido, ya que se pasó de 7450km a 6830km, lo cual es beneficioso para la compañía Transmilenio, pues con esta solución matemática encontrada le representa una reducción en costos operativos significativos, sin dejar de atender los puntos que anteriormente cubría, puesto que, ahora se programó de una manera más lógica el recorrido de la misma.
- El resolver este ejercicio desde una plataforma con software, aliviana la complejidad académica, pues al realizarlo de manera manual se puede caer en algún error y no obtener la respuesta optima, sesgando el resultado óptimo del estudio.
- En la primera visualización del ruteo ejecutado por de la ruta 9-10 se observa que esta hace algunos recorridos que se cruzan, lo cual ocasiona un aumento innecesario en el tiempo de ciclo y tiempo de recorrido de dicha ruta, siendo estos 38 y 19 minutos respectivamente, gracias al software "Evolutionary" arroja una mejor ruta en la que estos tiempos se reducen a 34,80 y 17,40 minutos obteniendo así un ahorro del 9% aproximadamente, esta mínima disminución beneficia a los usuarios del sistema y a la compañía pues, los primeros pueden llegar un poco más temprano a sus destinos y los segundos hacen un eventual ahorro en combustible.
- Desde la revisión en la literatura (Romero, 2018), se puede decir que la herramienta "Evolutionary" del software Excel fue una pieza clave para la solución del problema de optimización ya que, una de las funciones de esta es hallar la mejor solución posible para cualquier problema ya sea de asignación, transporte, entre otros; sin embargo, un inconveniente que se pudo observar es el tiempo que se requiere para llegar a la solución óptima puesto que, al no ser un problema robusto de solucionar, esta herramienta si necesitó

bastante tiempo para llegar al resultado más conveniente.

- Teniendo en cuenta que esta ruta alimentadora se escogió debido a su larga trayectoria e incomodidad que se genera entre los usuarios de la misma, y que a pesar de estas condiciones se pudo proponer una mejor ruta en la que se acortó el tiempo total de trayectoria, se puede decir que las demás rutas alimentadoras del sistema Transmilenio podrían mejorarse también utilizando el mismo método empleado en este trabajo y así, mejorar el nivel del servicio de este servicio público ofrecido a la ciudadanía.
- Es clave para mejorar el análisis de la ruta alimentadora tener en cuenta aspectos como la demanda en los nodos, la frecuencia e intervalo de servicio y la capacidad de buses que se requieren para atender los requerimientos de los usuarios y con ello fortalecer el resultado del ruteo por medio de la técnica del agente viajero TPS.

Sancho Caparrini, F. (15 de Noviembre de 2018). Algoritmos Genéticos. Obtenido de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=65>

Yordá Pérez, J. (14 de mayo de 2019). Trabajo Fin de Máster. Obtenido de El problema del cartero chino.: http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinM aster/Proyecto_1257.pdf

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Salazar López, B. (14 de mayo de 2019). IngenieriaIndustrialOnline.com. Obtenido de PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO - TSP.: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/>

K. Ribnikov. Análisis Combinatorio. Editorial Mir. Moscú, 1988. Páginas 17-23 https://www.ecured.cu/Grafo_euleriano

Mi ruta fácil. (16 de mayo de 2019). Mi ruta fácil. Obtenido de Ruta SITP: 9-10 Roma [Alimentador]: <https://mirutafacil.com/ruta-sitp-9-10-roma-alimentador/>

Romero, I. (25 de Octubre de 2018). Repartir con Solver Evolutionary- Excelforo. Obtenido de <https://excelforo.blogspot.com/2018/10/repartir-solver-evolutionary.html>