

# **Obtención del tiempo más corto para el problema de transporte en el sistema local de transporte público peruano 'El Metropolitano'**

**Juan Nolasco**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, jjnolasco@pucp.pe

**Wilmer Atoche**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.pe

## **ABSTRACT**

This document is written up in order to provide the best routes or alternatives concerning the time taken from an origin to a chosen destination. The case study is focus on the Peruvian's transport systems. For this particularly case study, the transport's route name 'El Metropolitano', which is responsible for transporting people from Lima Centro (Main Bus Station) towards Lima South (Matellini). In order to achieve this goal, our study is based on the Dijkstra's algorithm, which implies to define several factors such as distance travelled, time taken, total number of stops, direction of the route, among others.

This document is divided into 3 main sections. The first section provides an overview of how does the local transport in Peru works, and how does 'El Metropolitano' deals to offer a solution for minimize the time taken in moving from a origin to a chosen destination. It also, describes how Dijkstra's algorithm works for solving transport problems and why does it apply for the chosen case study. The second section shows the procedure and the results obtained according to the data collected. Finally, the third section portrays the observations and conclusion based on the results obtained

**Keywords: transport, time travelling, routes, optimization**

## **RESUMEN**

El presente documento se elabora a fin de proporcionar las rutas y/o conexiones optimas de manera que se obtenga el menor tiempo de viaje para llegar del paradero inicial al destino escogido. El estudio se enfoca en el transporte nacional peruano, particularmente en la ruta del 'Metropolitano', el cual ofrece el desplazamiento entre Lima Centro (Estación Central) y Lima Sur (Matellini). Para lograr este objetivo el análisis se centra en el algoritmo de 'Dijkstra', para lo cual se utiliza factores como distancia, tiempo de viaje, dirección de los viajes, y número de paradas, entre otros.

El trabajo está dividido en 3 partes. La primera parte brinda un contexto teórico acerca del transporte en el Perú y adicionalmente el servicio de transporte que ofrece la línea del Metropolitano. Asimismo, se describe la metodología del algoritmo 'Dijkstra' para la resolución de problemas de transporte y cómo es que encaja dentro de nuestro análisis. La segunda parte, muestra los procedimientos y resultados obtenidos para el problema de transporte planteado. Por último, la tercera parte contiene las conclusiones y observaciones en base a los resultados obtenidos.

**Palabras claves: transporte, tiempo de viaje, ruta, optimización**

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el creciente número de vehículos registrados en la ciudad de Lima ha ocasionado que el tiempo en tráfico se aumente cada día más. Es por ello que el servicio de transporte nacional ‘El Metropolitano’ ofrece una solución viable para reducir los tiempos de viaje por causa de dicho tráfico, en donde el pasajero pagando una única tarifa inicial puede desplazarse al destino que desea sin importar la distancia de recorrido por el bus.

Además, se cuentan con 38 paraderos habilitados distribuidos entre las urbanizaciones de Naranjal y Matellini. Por otro lado, como parte de su solución para reducir aún más el tiempo de viaje, ‘El Metropolitano’ también ofrece 8 opciones diferentes de viaje tales como Servicios Regules A,B,C, los Expresos 1,2,3,4 y el Súper Expreso. Cada uno de ellos se distingue sólo por la cantidad de paraderos en los cuales se detiene.

El presente trabajo busca proponer al usuario la ruta y/o opción de viaje con la cual se obtenga la manera más rápida que minimiza su tiempo de viaje del paradero inicial “i” hacia su destino escogido “j”. Para obtener dicha ruta se empleara el algoritmo de Dijkstra, el cual nos dará los distintos opciones a seguir según sea el paradero inicial y el destino.

## 2. DESARROLLO DEL MODELO

### 2.1 EL ALGORITMO DE DIJKSTRA

El algoritmo de Dijkstra, también llamado algoritmo de la “ruta más corta”, proviene de la problemática de encontrar la ruta más corta. En el problema de la ruta más corta lo que interesa es conocer que valores se generan a través de cierto flujo de una red dada. Dichos valores puede darse en términos de dinero, unidades, peso, tiempo, entre otros. Entonces, si se define una red de manera tal que los coeficientes de cada arco sean positivos, entonces es posible encontrar la ruta más corta entre 2 nodos de dicha red. A este problema se le denomina ‘problema de la ruta más corta’, el cual es posible encontrar una solución utilizando el algoritmo de Dijkstra.

El algoritmo consiste en ir encontrando los caminos más cortos mediante la activación de todos los puntos que conforman el grafo empezando en un nodo inicial “i” hasta un nodo final “j”. Para la realización de este trabajo se considera que cualquier paradero puede convertirse en nodo de origen o nodo final según la necesidad del transeúnte.

La aplicación de éste algoritmo en ‘El Metropolitano’ permite que los usuarios escojan, dependiendo de cuál sea su origen y destino, la mejor alternativa de servicio con la que minimizan su tiempo de viaje. Asimismo, la aplicación de este algoritmo es totalmente factible ya que mientras las personas no salgan del circuito del metropolitano no tendrán que incurrir en más costos por lo que pueden bajar y subir de un bus a otro sin incurrir en costos adicionales.

### 2.2 PROBLEMATICA

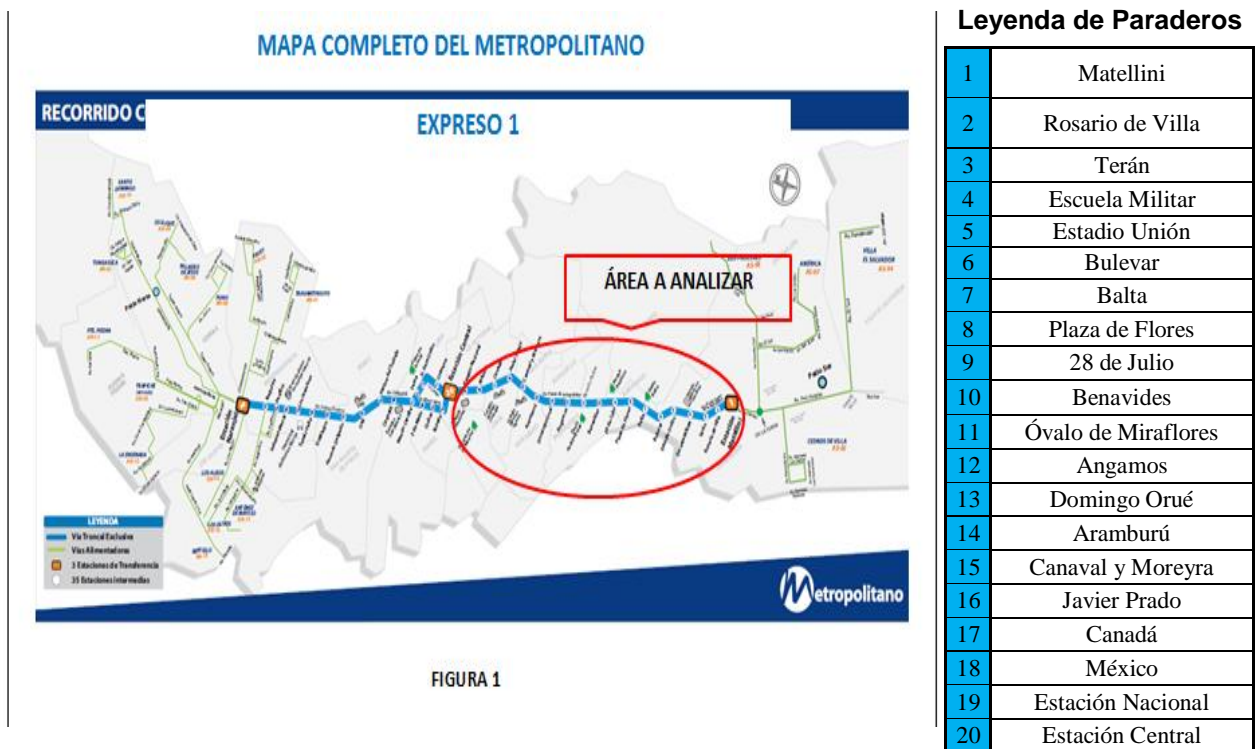
Para la aplicación del Dijkstra en ‘El Metropolitano’ se tomaran sólo 20 paraderos de los 38 existentes como nodos en el grafo (Ver Figura.1). Es importante señalar que se analizan 20 paraderos debido a que la mayor afluencia de usuarios y transito de buses se encuentran a lo largo de estos 20 paraderos. Asimismo, se considera como sentido de viaje desde Matellini hacia la Estación Central.

Para la aplicación del algoritmo consideraremos los tiempos de ruta y las ocho diferentes rutas que se puede utilizar junto con sus respectivas combinaciones. Para poder realizar el procedimiento asumimos que los tiempos de espera entre un bus y otro son despreciables dado que las muestras tomadas resultaron ser muy pequeñas. Cabe resaltar que cada bus presenta una determinada ruta la cual se diferencia en la cantidad de paraderos en las que se detiene. (Ver Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

En el caso del metropolitano realizaremos un Dijkstra para cada combinación de rutas que queremos evaluar en el cual elegiremos la ruta más corta después de realizar una comparación entre todas las opciones. (Ver Fig. 10). Asimismo se tiene que tomar en cuenta algunas consideraciones:

- En el tramo a analizar (Matellini – Estación Central) las rutas B y C tienen el mismo recorrido, es decir hacen las mismas escalas (paraderos) en todo el tramo. La única diferencia existente entre estas dos rutas en el tramo analizado es que el último paradero de la ruta B es Estadio Nacional. Es por eso que a la hora de graficar y mostrar los datos óptimos solo consideraremos la ruta C.
- El tiempo de espera ante un bus y otro es despreciable. Es por ello que cuando se quieren realizar combinaciones de buses para realizar un recorrido se asume que al bajar de un bus, el siguiente bus a necesitar se encontrará disponible inmediatamente.
- Tenemos que tomar en cuenta que cuando dos opciones de ruta para un paradero “i” con un destino “j” se diferencian en un minuto hay ciertas restricciones. Primero se debe analizar si las opciones se diferencian en que en una se hace combinación de rutas mientras que en la otra no. De ser así se elegirá la opción donde el pasajero no haga ningún transbordo. Esto se debe a que en la realidad resultaría ilógico hacer varios transbordos por tan pequeña diferencia. Además el transeúnte se incomodaría pues esto podría significar una posible pérdida de su asiento.

A continuación, se mostrarán los gráficos de las principales rutas del metropolitano así como las rutas tomadas para el estudio.



**Figura 1: Rutas del metropolitano de Lima**



Figura 2: Ruta del metropolitano de Lima: Expreso 1

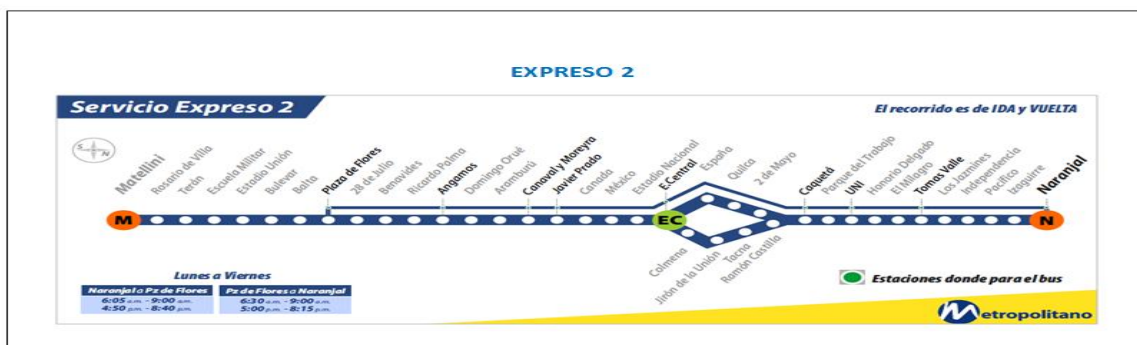


Figura 3: Ruta del metropolitano de Lima: Expreso 2

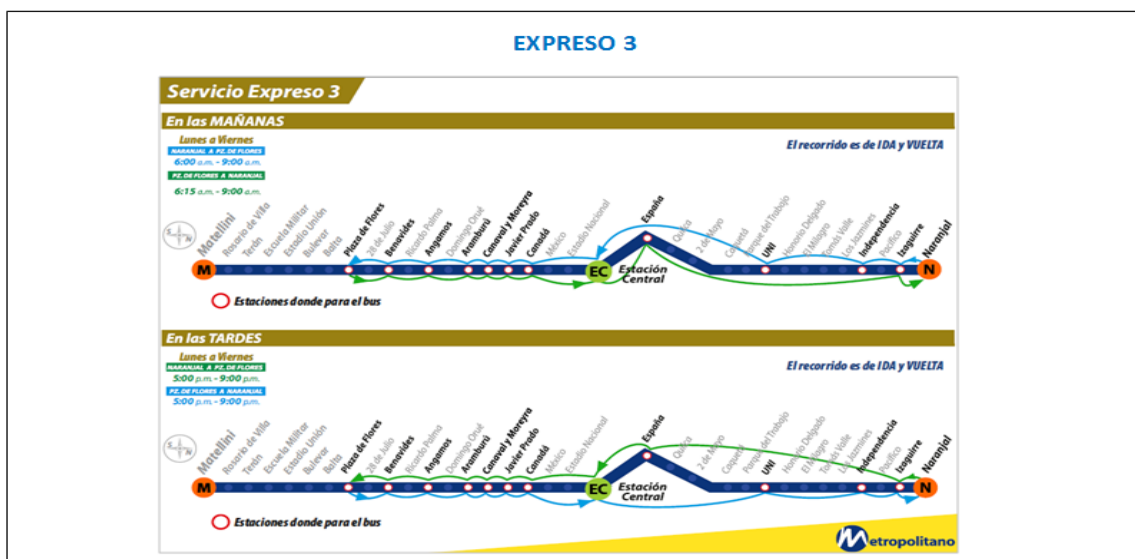


Figura 4: Ruta del metropolitano de Lima: Expreso 3

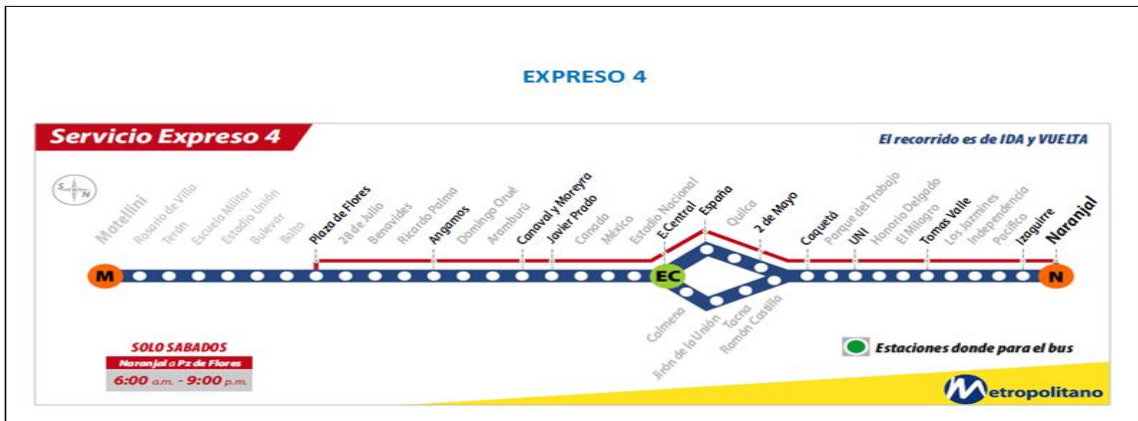


Figura 5: Ruta del metropolitano de Lima: Expreso 4



Figura 6: Ruta del metropolitano de Lima: Super Expreso



Figura 7: Ruta del metropolitano de Lima: Ruta A



Figura 8: Ruta del metropolitano de Lima: Ruta B



Figura 9: Ruta del metropolitano de Lima: Ruta C

### 2.3 MODELO

Se aplicó el algoritmo de Dijkstra, para fue necesario colocar como nodos todas las posibles paradas del metropolitano a lo largo de la ruta. Asimismo, se calculó el tiempo estándar en el traslado de estación a estación. Una de las condiciones básicas del problema es que siempre había un bus disponible en caso la persona tenga que cambiar de bus por motivos de ahorro de tiempo. En esta línea, si se tenía que cambiar de bus para ahorrar un minuto de tiempo, se considerará que no es factible el cambio de bus en alguna estación.

Por otro lado, es necesario la utilización de un software con los requerimientos y la capacidad necesaria. En efecto, el software utilizado será Lingo 14.

Finalmente, para calcular el tiempo estándar entra cada nodo se utilizó el método estadístico, con la ayuda del programa Minitab 16.

### GRAFO DE RUTAS: tiempos estándar de nodo i a un nodo j

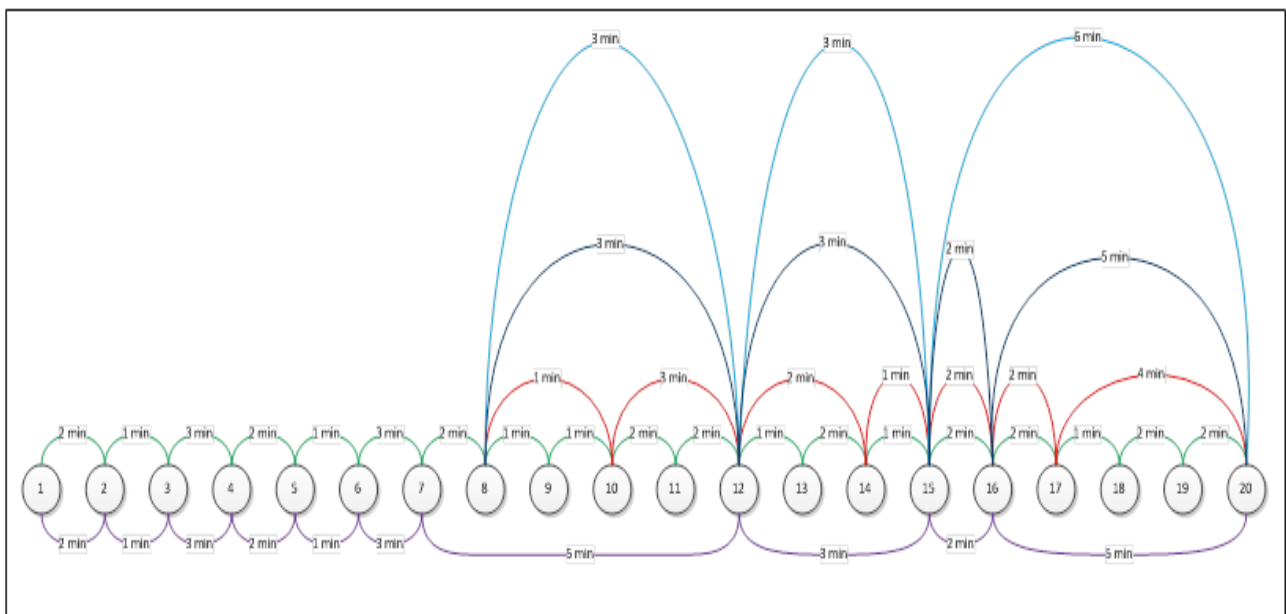


Figura 10: Gráfico de rutas

### 3. RESULTADOS

Se demuestra que existe un ahorro en los tiempos de viaje utilizando las rutas convenientes, según sea el origen y destino escogido. En las siguientes tablas se presentaran los resultados óptimos tanto en rutas como en tiempos para cada combinación de rutas. La tabla 1 muestra las líneas óptimas por tramo y la tabla 2 muestra los tiempos.

**Tabla 1: Combinación óptima de la línea de buses**

|    | 1 | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9 | 10    | 11    | 12      | 13              | 14    | 15           | 16               | 17     | 18      | 19      | 20       |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|-------|-------|---------|-----------------|-------|--------------|------------------|--------|---------|---------|----------|
| 1  |   | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 2  |   |        | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 3  |   |        |        | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 4  |   |        |        |        | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 5  |   |        |        |        |        | C, EX1 | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 6  |   |        |        |        |        |        | C, EX1 | C, EX1 | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 7  |   |        |        |        |        |        |        | C      | C | C+EX3 | C     | EX1     | C+SE+C, C+EX2+C | C+EX3 | EX1          | EX1              | C+EX3  | EX1+C   | EX1+C   | EX1      |
| 8  |   |        |        |        |        |        |        |        | C | C+EX3 | EX3+C | EX2, SE | SE+C, EX2+C     | EX3   | EX3          | EX2              | EX3    | EX2+C   | EX2+C   | SE       |
| 9  |   |        |        |        |        |        |        |        |   | C     | C     | C       | C               | C+EX3 | C+EX3        | C+EX1, C+EX2     | C+EX3  | C+EX2+C | C+EX2+C | C+SE     |
| 10 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       | C     | EX3     | C               | EX3   | EX3          | EX3              | EX3    | EX3+C   | EX3+C   | EX3+SE   |
| 11 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       | C       | C               | C     | C+SE, C+EX2  | C+EX1, C+EX2     | C+EX3  | C+EX2+C | C       | C+SE     |
| 12 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         | C               | EX3   | EX1, EX2, SE | EX1, EX2         | EX3    | C       | C       | SE       |
| 13 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 | C     | C            | C                | C      | C       | C       | C+SE     |
| 14 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       | C, EX3       | C, EX3           | C, EX3 | C       | C       | C+SE     |
| 15 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              | C, EX1, EX2, EX3 | C, EX3 | C       | C       | SE       |
| 16 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              |                  | C, EX3 | C       | C       | EX1, EX2 |
| 17 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              |                  |        | C       | C       | EX3      |
| 18 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              |                  |        |         | C       | C        |
| 19 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              |                  |        |         |         | C        |
| 20 |   |        |        |        |        |        |        |        |   |       |       |         |                 |       |              |                  |        |         |         |          |



**Tabla 2: Tiempos para la combinación óptima de la línea de buses**

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |   |
|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 1  |   | 2 | 3 | 6 | 8 | 9 | 12 | 14 | 15 | 15 | 18 | 17 | 18 | 20 | 20 | 22 | 25 | 25 | 27 | 37 |   |
| 2  |   |   | 1 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 13 | 13 | 16 | 15 | 16 | 18 | 18 | 20 | 23 | 23 | 25 | 25 |   |
| 3  |   |   |   | 3 | 5 | 6 | 9  | 11 | 12 | 12 | 15 | 14 | 15 | 17 | 17 | 19 | 22 | 22 | 24 | 24 |   |
| 4  |   |   |   |   | 2 | 2 | 6  | 8  | 9  | 9  | 12 | 11 | 12 | 14 | 14 | 16 | 19 | 19 | 21 | 21 |   |
| 5  |   |   |   |   |   | 1 | 4  | 6  | 7  | 7  | 10 | 9  | 10 | 12 | 12 | 14 | 17 | 17 | 19 | 19 |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   | 3  | 5  | 6  | 6  | 9  | 8  | 9  | 11 | 11 | 13 | 16 | 16 | 18 | 18 |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |    | 2  | 3  | 3  | 6  | 5  | 6  | 8  | 8  | 10 | 13 | 13 | 15 | 15 |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |    |    | 1  | 1  | 3  | 3  | 4  | 6  | 6  | 8  | 11 | 11 | 13 | 12 |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 1  | 3  | 5  | 6  | 6  | 7  | 10 | 11 | 12 | 14 | 14 |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 8  | 10 | 13 | 13 | 12 |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | 2  | 3  | 5  | 5  | 7  | 9  | 12 | 13 | 11 |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 1  | 2  | 3  | 5  | 7  | 9  | 11 | 9  |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 2  | 3  | 5  | 7  | 8  | 10 | 9  |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 1  | 3  | 4  | 6  | 8  | 7  |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2  | 4  | 5  | 7  | 6  |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 3  | 3  | 5  | 5  |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 1  | 3  | 4  |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2  | 4 |
| 19 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 3 |
| 20 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |

En la presenta tabla se observa los tiempos óptimos de traslado entre nodo y nodo. Vale aclarar que algunos casos existe un ahorro de tiempo de aproximadamente 23 minutos entre Matellini y la estación central que significa un 38% de recorte de tiempo.

Y aunque este modelo es aplicado a un tramo de la ruta del servicio de buses del metropolitano, tiene gran potencial; ya que, se puede aplicar en sistemas integrados de servicios públicos, como ocurre en Paris, New York, etc. Asimismo, en los países subdesarrollados que actualmente crecen con gran rapidez este algoritmo aplicado al transporte público será de gran ayuda para los usuarios.

#### 4. CONCLUSIONES

- El método de Dijkstra ofrece los caminos de ruta más corta siempre que exista un origen y un destino.
- Se logra obtener un ahorro considerable en el tiempo de viaje, con lo cual permite al usuario tener una alternativa óptima.
- Si bien algunas opciones requieren cambio de bus, el usuario puede desistir de este cambio por el esfuerzo de bajar y realizar el cambio
- La simulación del presente trabajo tiene como objetivo dar una herramienta al transporte público y privado para un sistema integrado de transporte. En efecto, al aplicar esta herramienta se dará al público facilidades como un tiempo y una ruta óptima y para el traslado en cualquier medio de transporte sistematizado como estaciones de buses, metros y otros.
- Si bien es cierto existen grandes aplicaciones para el transporte privado como el GPS, las aplicaciones para las personas que utilizan el transporte público son pocas o prácticamente nulas. Es por esto que este algoritmo está destinado a ayudar a los usuarios que utilizan el transporte público, sobre todo tiene un gran potencial para ciudades que tienen un sistema integrado de transporte. Asimismo, por el ritmo cambiante y acelerado de la población los sistemas viales en las ciudades serán en algún momento sistemas integrados de transporte o tratarán de asemejarse lo más posible.
- Con esta herramienta que puede utilizarse en dispositivos móviles o plataformas en internet las personas podrán calcular un aproximado del menor tiempo de viaje entre un punto origen y un destino final y, además, las rutas más convenientes que no necesariamente serán las más lógicas o de uso frecuente; disminuyendo así el tiempo de transporte del usuario en su vida cotidiana.

#### REFERENCIAS

- [1] Taha, H (2012), *Investigación de operaciones, Novena edición* :Editorial Pearson
- [2] Winston W. L. (2005), *Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*, Mexico:Thomson
- [3] Ballou, R (2004), *Logística: Administración de la cadena de suministro. Naucalpan de Juárez* : Pearson Educación.
- [4] Hillier F. S. / Lieberman G.J (2002) *Investigación de operaciones*, Mexico:McGraw-Hill.
- [5] Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. y Weatherford, L.(2000), *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*, Mexico: Prentice Hall.
- [6] Ross, S. M. (1999) *Simulación*, Mexico: Prentice Hall.
- [7]Netropolitano (2013) “<http://www.metropolitano.com.pe/>”

#### **Authorization and Disclaimer**

Authors, Juan Nolasco & Wilmer Atoche, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.