

## Elección de ruta, percepción y satisfacción del servicio de los usuarios de Metro de Santiago

Francisca Giraldez Zúñiga, Pontificia Universidad Católica de Chile [fgiraldez@uc.cl](mailto:fgiraldez@uc.cl)

Sebastián Raveau Feliú, Pontificia Universidad Católica de Chile [sraveau@ing.puc.cl](mailto:sraveau@ing.puc.cl)

### RESUMEN

Actualmente, Metro de Santiago no posee la tecnología para identificar la ruta de los usuarios, cómo es la percepción del servicio y qué variables afectan la satisfacción. Esta investigación presenta un modelo de elección de ruta, un modelo de satisfacción y la comparación entre la percepción de los usuarios y la operación real. Se utilizaron datos de Metro S.A. y las 1593 respuestas de una encuesta realizada. Se estimó un modelo Logit Multinomial con clases latentes para describir la elección de ruta, donde se encontró que 27,6% de los usuarios poseen un comportamiento lexicográfico que minimiza los transbordos. Se utilizó un modelo Logit Ordinal para estimar la satisfacción, se incorporó la heterogeneidad mediante parámetros aleatorios y variaciones sistemáticas. Se muestra la gran diferencia que existe entre percepciones y atributos reales. Se concluye que la satisfacción de los pasajeros se basa en la percepción, y no en el servicio real entregado.

*Palabras claves: elección de ruta, satisfacción, percepción*

### ABSTRACT

Currently, Metro de Santiago does not have the technology to identify the route of users, how the perception of the service is and what variables affect users' satisfaction. This research presents a route choice model, a satisfaction model, and a comparison between user's perception and actual operation. The information collected was data from Metro S.A. and 1593 responses from a survey. A Multinomial Logit Model with latent classes was estimated to describe the route choice of users. It was found that 27.6% of passengers have a lexicographic behavior that minimizes transfers. An Ordinal Logit model was used to estimate satisfaction, and heterogeneity was incorporated through random parameters and systematic variations. It shows the significant difference that exists between perceptions and real attributes of a trip. It is concluded that passenger satisfaction is based on perception, and not on the actual service delivered.

*Keywords: route choice, satisfaction, perception*

## 1 INTRODUCCIÓN

En Santiago se realizan más de 18 millones viajes diarios, de los cuales 4.621.369 (25%) se realizan en transporte público (SECTRA, 2014). El Metro de Santiago es un modo vital para la movilidad de la ciudad, pues en un día laboral se realizan 2.815.602 viajes con al menos una etapa en metro (DTPM, 2019), es decir, el 61% de los viajes en transporte público tienen al menos un tramo en metro.

La elección de ruta de los usuarios es relevante porque determina los niveles de servicio resultantes para las diferentes líneas de la red. Anteriormente se han realizado investigaciones de la elección de ruta de los usuarios del Metro de Santiago, por ejemplo realizadas por Raveau et al. (2011) y Raveau et al. (2014). Sin embargo, estas fueron previas a la inauguración de las líneas 3 y 6.

Otro aspecto muy importante es entender la satisfacción de los usuarios y la percepción de los atributos del viaje, pues esto permitiría retener a los usuarios de transporte público (De Oña y De Oña, 2014). Adicionalmente, resulta relevante dimensionar la distorsión en la percepción de los usuarios sobre los atributos reales del viaje, pues finalmente qué tan satisfechos se encuentran debería depender de la percepción de los atributos del viaje más que de las características reales del viaje.

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

1. Modelar la elección de ruta en el Metro de Santiago
2. Modelar la satisfacción de los usuarios mediante un modelo de elección discreta
3. Ilustrar la dispersión de la percepción de los usuarios sobre los atributos reales de viaje
4. Identificar lecciones y recomendaciones para la operación del Metro de Santiago

Las principales contribuciones de este trabajo son: (1) Modelar la elección de ruta considerando la incorporación de dos líneas en la red, (2) Modelar la satisfacción y percepción de los usuarios de Metro de Santiago en un mismo experimento, (3) Profundizar la investigaciones previas de satisfacción realizadas en el Metro de Santiago

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Problema de elección de ruta

La elección de ruta al igual que otras elecciones discretas, puede modelarse como la elección de una alternativa contenida en un conjunto de alternativas disponibles. (Prato, 2009).

Inicialmente, estas modelaciones consideraban exclusivamente factores del nivel de servicio como tiempo de viaje dentro del vehículo, tiempo de espera, y ocupación, entre otros; y características sociodemográficas como nivel de ingreso, propósito de viaje, y edad (Ortúzar y Willumsen 2001). Tirachini et al. (2016) muestran el efecto que tiene la ocupación y la disponibilidad de asiento en la elección de ruta mediante *crowding multipliers*.

Posteriormente, se ha postulado que los aspectos psicológicos de los usuarios afectan su comportamiento (Raveau et al., 2014), donde la modelación utilizando variables latentes ha resultado altamente superior a los modelos tradicionales. Otra forma de considerar aspectos psicológicos ha sido la modelación donde los usuarios minimizan el arrepentimiento (Chorus, 2010), que establece que el usuario selecciona la ruta que lo hace sentir menos arrepentido de no haber elegido otra ruta alternativa.

Asimismo, es importante considerar en esta elección las variables topológicas (Raveau et al., 2011). Respecto a esto, Guo (2011) sugiere que los usuarios basan más sus decisiones en la información de los mapas que en sus experiencias anteriores, mientras que Hochmair (2009) encontró que también influye la información adicional en los mapas como la espera máxima.

## **2.2 Modelación de percepción**

Tradicionalmente en las investigaciones de transporte se utilizan variables cuantitativas como el tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de transbordo, tarifa, entre otros (Bordagaray, 2014). La percepción de los atributos de la operación no es usualmente considerada en las modelaciones y puede ser determinante para el comportamiento de los usuarios.

El tiempo de viaje es uno de los elementos con los que se evalúa la efectividad de transporte público (Daskalakis y Stathopoulos, 2008). Uno de los clásicos descubrimientos en la percepción del tiempo fue realizado por Vierordt (1868), que mencionó la duración de actividades cortas eran usualmente sobrestimadas, y la duración de las actividades largas era subestimada.

Además, la percepción depende del entorno y experiencia del usuario. Por ejemplo, Fan et al. (2016) muestran que el tiempo de espera percibido es menor cuando las zonas de espera son más cómodas, mientras que Yarmey (2000) encontró que repetir la experiencia mejora la estimación del tiempo de espera. Adicionalmente, Meng et al. (2018) menciona que es razonable, al modelar, considerar los atributos percibidos en lugar de los reales

## **2.3 Modelación de satisfacción**

Según Paquette et al. (2012), la calidad puede ser analizada de dos perspectivas: de la experiencia de los usuarios (Dell'Olivo et al., 2010) y de la calidad esperada, determinada por lo que esperan los usuarios de un servicio eficiente de transporte público (Eboli y Mazzulla, 2007).

La satisfacción y calidad del transporte público han sido vastamente estudiadas mediante diversas metodologías y fuentes de información (De Oña y De Oña, 2014). Algunos descubrimientos interesantes son de Bordagaray et. al (2014), quienes modelaron la calidad del servicio de buses utilizando datos de percepción de los usuarios, consideraron la heterogeneidad mediante parámetros aleatorios y variaciones sistemáticas sociodemográficas. Por otro lado, Allen et al. (2018) modelaron la satisfacción de una línea y del sistema global, donde obtuvieron que la variable más importante es una mezcla entre la satisfacción de la etapa en Metro, el comportamiento de otros usuarios y la información disponible. Finalmente, Soza-Parra et. al (2019) muestran que la

alta ocupación tiene un impacto negativo no lineal en la satisfacción de los usuarios, además del gran impacto que tienen la confiabilidad de los tiempos de espera y la ocupación en la satisfacción de los usuarios.

### 3 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

#### 3.1 Diseño de la encuesta

La encuesta recopila las preferencias reveladas de los usuarios de Metro de Santiago respecto al viaje que acaban de realizar. Para esto se diseñó una encuesta con 12 preguntas.

##### **Características sociodemográficas (2 preguntas)**

Los usuarios fueron clasificados por edad, considerando las categorías de adulto joven (18 y 25 años), adulto (25 y 60 años) y adulto mayor (mayor a 60); y por sexo.

##### **Elección de ruta (2 preguntas)**

Para identificar la ruta escogida se les preguntó por la estación de origen del viaje en Metro y las estaciones de combinación en las que transbordaron.

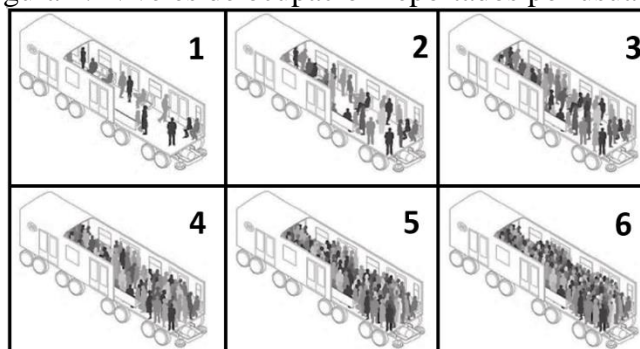
##### **Satisfacción (1 pregunta)**

Los usuarios tuvieron que calificar el viaje del último tren abordado con una escala discreta del 1 al 7.

##### **Percepción (3 preguntas)**

Se les pidió a los usuarios que estimaran los tiempos de espera y de viaje del último tren abordado. También se les solicitó que reportaran la máxima ocupación del vagón acorde con la Figura 1.

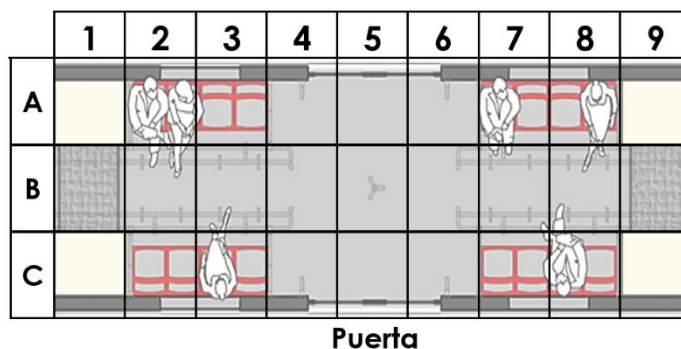
Figura 1: Niveles de ocupación reportados por usuarios



##### **Características del viaje (4 preguntas)**

Para caracterizar el último tramo del viaje, se les preguntó a los usuarios sobre el número de trenes que se detuvieron y no pudieron abordar, el propósito y frecuencia del viaje. Asimismo, se les pidió que identificaran su ubicación en el vagón durante el último tramo de su viaje según la Figura 2.

Figura 2: Ubicación de usuario en el coche



## 3.2 Aplicación de la encuesta

### 3.2.1 Elección de estaciones para medición

La aplicación de la encuesta se desarrolló en las estaciones Manquehue, Tobalaba, Los Leones, Universidad de Chile y Plaza de Armas. Esta se realizó desde las 7:00hrs a las 12:00 hrs, los días martes 19, miércoles 20, jueves 21, martes 26, miércoles 27 y jueves 28 de Noviembre, y miércoles 4 y jueves 5 de Diciembre.

El criterio de elección de las estaciones se basó la matriz de viajes de Metro del miércoles 10 de Abril del 2019, según la Dirección de Transporte Público Metropolitano (DTPM). Se escogieron 5 estaciones que tuvieran una alta atracción de viajes provenientes de diversos sectores de la ciudad.

### 3.2.2 Contexto de la medición: protestas en Santiago

Cabe mencionar que, durante el período de toma de datos, se encontraban operativas el 76% de las estaciones y un 92% de los kilómetros de la red de metro, debido a las protestas ocurridas en Santiago durante octubre del 2019 (Metro de Santiago, 2019).

La perturbación de la operación normal de Metro repercute la naturaleza de los datos en dos aspectos: Primero, no todos los usuarios podían realizar sus viajes habituales, ya sea porque su estación de origen, estación de destino o ruta habitual se encontraba inhabilitada. Segundo, puede existir un menor número de viajes por motivo estudio, dado que diversas instituciones educativas implementaron actividades remotas para no exponer a sus estudiantes a las manifestaciones.

### 3.2.3 Análisis preliminar de las respuestas

La encuesta obtuvo 1593 respuestas válidamente emitidas, donde 22,6% provienen de las estaciones ubicadas en Santiago Centro (Universidad de Chile y Plaza de Armas).

La Tabla 1 muestra el número de respuestas y nota promedio del último tramo de viaje para cada categoría sociodemográfica de los usuarios. A partir de esta, se deduce que los adultos mayores, y en particular los hombres, califican mejor el viaje que las categorías de usuarios más jóvenes.

Tabla 1: Nota por categoría de usuario

| Sexo   | Edad          | Respuestas | Nota promedio |
|--------|---------------|------------|---------------|
| Mujer  | Entre 18 y 25 | 172        | 5.24          |
|        | Entre 25 y 60 | 589        | 5.59          |
|        | Mayor a 60    | 138        | 5.86          |
|        | Total         | 899        | 5.56          |
| Hombre | Entre 18 y 25 | 133        | 5.19          |
|        | Entre 25 y 60 | 467        | 5.59          |
|        | Mayor a 60    | 94         | 6.11          |
|        | Total         | 694        | 5.63          |

## 4 MODELACIÓN

### 4.1 Elección de ruta

Previo a la modelación se filtraron dos tipos de respuesta: primero, aquellas donde la estación de origen y destino se encontraban en la misma línea. Segundo, donde existe una alternativa claramente dominante sobre las otras rutas. Como resultado de este proceso se obtuvo una base de datos con 452 registros.

Para cada respuesta, en función de la estación de origen y destino, se determinaron las rutas disponibles para cada usuario. Luego, se calcularon los atributos de cada ruta considerando el nivel de servicio, obtenido de la información de operación de Metro S.A., según el horario del viaje (punta mañana o fuera de punta) y las mediciones realizadas en terreno sobre el tiempo de caminata y características de las combinaciones. Cabe mencionar que no se pueden utilizar datos de percepción, dado que estas respuestas son basadas en el último tramo de la ruta escogida, y no de las otras rutas disponibles.

En la Tabla 4 del Anexo 1 se encuentran los atributos de las rutas, junto con su unidad y fuente de información.

El modelo con mejor ajuste es un modelo de elección discreta no etiquetado con clases latentes. Una clase de usuario tiene un comportamiento lexicográfico, pues escoge la ruta que minimiza el número de transbordos sin considerar los otros atributos. Si las alternativas tienen igual número de combinaciones, esta clase de usuario pondera los atributos de igual manera que la otra clase.

En la Ecuación 1 se encuentra la forma funcional de la utilidad de la ruta para la segunda clase de usuarios:

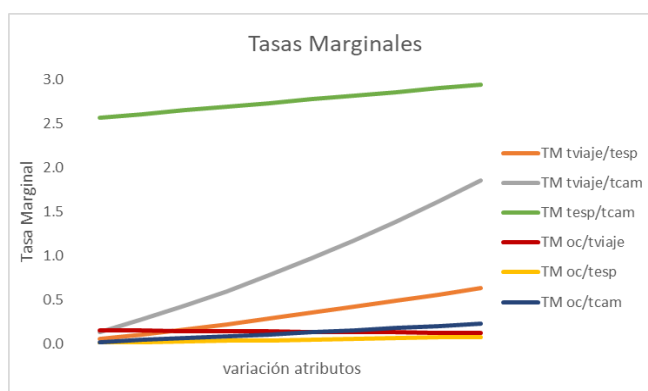
$$V_2 = \beta_{tv} \cdot t_v^\lambda + \beta_{tesp} \cdot t_{esp} + \beta_{tv-oc} \cdot t_{vi} \cdot oc_{dist} + \beta_{ant} \cdot \delta_{ant} + \beta_{cam} \cdot \log(t_{cam} + 1) \quad (1)$$

Los atributos que inciden en la elección de ruta son el tiempo de viaje, de espera, la ocupación ponderada por distancia, si todos los tramos son en líneas antiguas, y el tiempo de caminata. Cabe mencionar que el tiempo de viaje y de caminata tienen un comportamiento no lineal, mientras que la ponderación de la ocupación varía dependiendo del tiempo de viaje. Asimismo, las rutas que contienen al menos un tramo en las líneas nuevas son más atractivas. Los parámetros resultantes del modelo se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 2: Parámetros resultantes elección de ruta

| Variabes          | Valor   | Test-t |
|-------------------|---------|--------|
| $\beta_{tv}$      | -67,7   | -2,03  |
| $\lambda$         | 2,68    | 4,55   |
| $\beta_{tesp}$    | -54,2   | -5,16  |
| $\beta_{tv-oc}$   | -25,2   | -7,03  |
| $\beta_{ant}$     | -0,72   | -2,15  |
| $\beta_{cam}$     | -21,5   | -3,29  |
|                   |         |        |
| Tamaño muestra    | 452     | -      |
| Log-verosimilitud | -199,87 | -      |

Figura 3: Tasas marginales de sustitución para usuarios de clase 2



Nota: La variación de los tiempos es de un minuto, mientras que la ocupación aumenta en rangos de 10%

Asimismo los datos sociodemográficos -edad, sexo- y de caracterización de los viajes- propósito, frecuencia- no fueron suficientes para caracterizar a los usuarios. Es decir, con la información disponible no fue posible definir los atributos que determinan la pertenencia de los usuarios a una clase en específico. Sin embargo, al estimar la probabilidad de pertenencia de la clase lexicográfica se obtuvo que corresponde al 27.6% de los usuarios.

Para los usuarios de clase 2, de acuerdo con la Figura 3, se observa que las tasas marginales de sustitución del tiempo de viaje y espera con la caminata son crecientes respecto al aumento de los tiempos. Sin embargo, la tasa marginal entre el tiempo de viaje y el tiempo de caminata tiene una mayor variabilidad.

## 4.2 Percepción

Para el análisis de percepción, y la posterior modelación de satisfacción, se utilizaron las 1593 respuestas recolectadas.

Metro S.A. compartió los datos de operación efectivos para las fechas de medición del estudio. Por tanto, para ilustrar la distorsión de las percepciones de los usuarios respecto a la información de la operación, se identificaron los tres trenes más cercanos a la llegada a la estación de destino del pasajero, y se promediaron sus atributos de nivel de servicio. Cabe mencionar que se les solicitó a los usuarios reportar sus estimaciones respecto al último tren abordado, por lo que estas comparaciones consideran solo el último tramo del viaje en metro.

La ocupación fue reportada por Metro S.A., como el número de pasajeros totales que se desplazaron en cada segmento (entre dos estaciones consecutivas), durante 15 minutos. Luego, considerando el número de trenes que circularon durante ese horario, se obtuvo el porcentaje de ocupación promedio del tren y se asumió una carga homogénea de los coches del tren. Es relevante mencionar que a los usuarios se les consultó por la máxima ocupación observada en el vagón abordado, por lo que se consideró la ocupación máxima de los segmentos que conforman el último tramo del viaje.

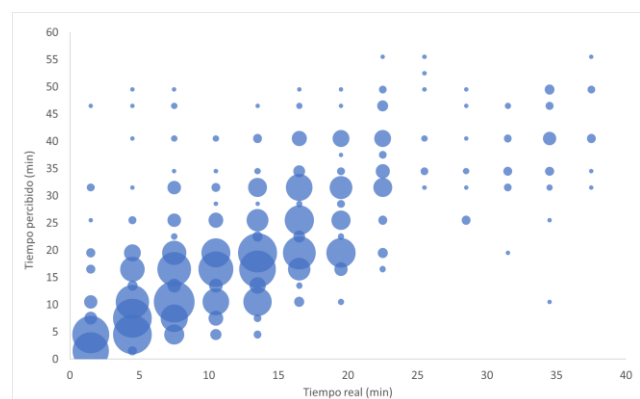
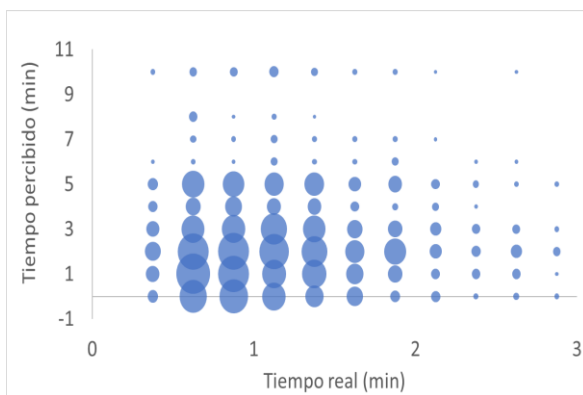
Asimismo, la base de datos de Metro S.A. contiene el tiempo de llegada y salida, de cada tren, para cada estación de la red. Con esta información, y considerando la estación de origen y destino del último tramo del viaje, se pudo calcular el tiempo de viaje real del usuario. Por otro lado, el tiempo de espera se estimó asumiendo una llegada uniforme de los usuarios, por lo que el tiempo de espera equivale a la mitad del intervalo entre dos trenes consecutivos que llegan a la estación de origen.

A continuación, se encuentran los gráficos se ilustran la distorsión de la percepción de los usuarios:

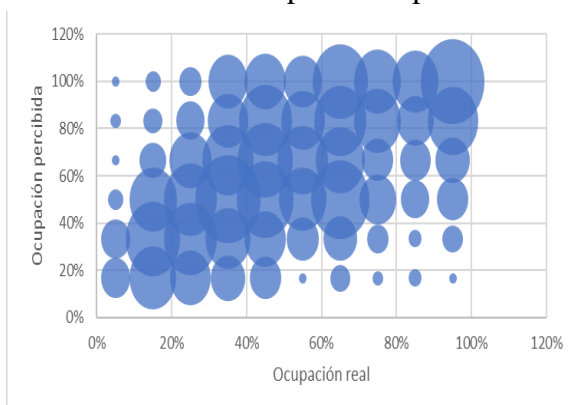
Figura 4: Dispersión percepciones de los usuarios

a. Percepción tiempos de espera

b. Percepción tiempos de viaje



c. Percepción ocupación



En los gráficos de la Figura 4 se observa la comparación de los atributos reales con los percibidos, donde el tamaño de la burbuja indica el número de observaciones. En la Figura 4(a) se aprecia que el tiempo de espera percibido no tiene una tendencia clara respecto al tiempo de espera real. Por



otro lado, el tiempo de viaje y ocupación tienen tendencias crecientes. No obstante la ocupación tiene mayor dispersión, en particular entre el 30 % y 70% de la capacidad.

### 4.3 Satisfacción

Como se mencionó anteriormente, se le consultó a los usuarios su nivel de satisfacción respecto al último tramo de su viaje en Metro. En la Tabla 5 del Anexo 2, se encuentran las variables del último tramo del viaje consideradas en la modelación, junto con su unidad y fuente de información.

La satisfacción de los usuarios fue reportada con una escala del 1 al 7. Por lo tanto, la modelación de la satisfacción se realizó a través de un *logit* ordinal. El modelo con mejor ajuste posee parámetros aleatorios y variaciones sistemáticas de la ocupación respecto a la edad y del viaje.

La forma funcional de la utilidad se encuentra en la Ecuación (2):

$$V = \beta_{tv} \cdot tv + \beta_{tesp-rnd} \cdot te + (\beta_{ocp-rnd} + \theta_{joven} \cdot \delta_{joven} + \theta_{AM} \cdot \delta_{AM} + \theta_{sent} \cdot \delta_{sent}) \cdot oc + \beta_{ant} \cdot \delta_{ant} \quad (2)$$

Los atributos que afectan la satisfacción son el tiempo de viaje percibido, el tiempo de espera percibido, la ocupación percibida y si el tramo es realizado en una línea antigua. Los parámetros del tiempo de espera y de la ocupación tienen una distribución normal que capturan la heterogeneidad de la incidencia de estos atributos en la satisfacción. Adicionalmente, se evidencia que la importancia de la ocupación depende de la edad del usuario y si realiza el viaje sentado. Los parámetros resultantes del modelo se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 3: Parámetros resultantes modelo de satisfacción

| Modelo           | Datos percibidos |        | Datos reales |        |
|------------------|------------------|--------|--------------|--------|
|                  | Valor            | Test-t | Valor        | Test-t |
| $\beta_{tv}$     | -0,03            | -6,62  | -0,02        | -3,14  |
| $\beta_{tesp}$   | -0,2             | -7,35  | 0,09*        | 0,94*  |
| $\sigma_{tesp}$  | 0,11             | 3,15   | -            | -      |
| $\beta_{ocp}$    | -2,1             | -9,42  | -1,85        | -8,31  |
| $\sigma_{ocp}$   | 0,79             | 2,64   | -            | -      |
| $\theta_{joven}$ | -0,79            | -4,52  | -0,93        | -4,39  |
| $\theta_{AM}$    | 0,65             | 2,52   | 0,77         | 3,33   |
| $\theta_{sent}$  | 0,87             | 4,01   | 0,93         | 4,45   |
| $\beta_{ant}$    | -0,36            | -3,05  | -0,06        | -0,51* |
| $\tau_1$         | -7,07            | -18,8  | -4,9         | -20,20 |
| $\delta_2$       | 0,6              | 5,2    | 0,53         | 5,2    |
| $\delta_3$       | 0,6              | 6,42   | 0,49         | 6,29   |
| $\delta_4$       | 1,58             | 12,9   | 1,3          | 14,9   |
| $\delta_5$       | 1,23             | 14,6   | 1,02         | 18,6   |
| $\delta_6$       | 1,67             | 18,7   | 1,41         | 24,8   |
|                  |                  |        |              |        |

|                   |         |   |         |   |
|-------------------|---------|---|---------|---|
| Tamaño muestra    | 1593    | - | 1593    | - |
| Log-verosimilitud | -2324,5 | - | -2395,5 | - |
| AIC               | 4679    | - | 4817    | - |

El aspecto del servicio más influyente en la satisfacción de los usuarios es la ocupación. Respecto a este atributo, este es menos influyente en la satisfacción de las personas que viajan sentadas y en los adultos mayores. Una posible explicación para esto último, es que los adultos mayores parecieran ser menos exigentes, pues como se mencionó anteriormente, se encuentran más satisfechos que los usuarios más jóvenes. Por último, es relevante mencionar que realizar el último tramo en una línea nueva produce una satisfacción inherente a los niveles de servicio.

Al intentar establecer la misma especificación con parámetros determinísticos, utilizando los datos reales en lugar de los percibidos, se obtiene un modelo con un peor ajuste y con parámetros importantes poco significativos, como el tiempo de espera. Esto se corrobora con el criterio AIC, que es menor para el modelo con datos percibidos. Esto puede ser evidencia de que los usuarios reportan su satisfacción en base a los atributos percibidos y no los datos reales de operación.

## 5 DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación es analizar cómo afectan los niveles de servicio de la operación de Metro en la elección de ruta, en la satisfacción de los usuarios, además de ilustrar la distorsión de la percepción que tienen los usuarios sobre estos atributos.

En la modelación de elección de ruta se evidencia el impacto que tiene el número de transbordos, siendo el único factor influyente para una clase de usuarios (27,6%). Esto es interesante, teniendo presente las aperturas de las próximas líneas 7, 8 y 9, pues de acuerdo con estos resultados, a pesar de que estas líneas ofrezcan nuevas rutas con mejores tiempos, frecuencias y ocupación, para un grupo de usuarios serán menos atractivas si el número de transbordos aumenta. Considerando la clase compensatoria (72,4% de los usuarios), el tiempo de viaje y ocupación son más relevantes para los viajes más largos. Cabe mencionar, que a diferencia de modelaciones anteriores de elección de ruta en el Metro de Santiago (Raveau et al., 2011), las variables topológicas no resultaron significativas en la elección. Algunas posibles explicaciones son que los tamaños muestrales son poco comparables (28.961 y 452 observaciones), en este caso hay dos líneas más de metro y se analizaron solo cinco estaciones de destino.

Respecto a la percepción, se observa que la estimación del tiempo de espera no tiene una tendencia clara respecto al tiempo real. Esto puede ser consecuencia del comportamiento del usuario mientras espera el tren -si está haciendo otra cosa mientras espera-, y también de los supuestos realizados para construir la base de tiempos reales de espera, pues existen estudios previos que midieron el tiempo de espera para cada persona y las estimaciones de los usuarios resultaron más precisas (Fan et al., 2016). Por otro lado, la estimación de los tiempos de viaje de los usuarios son los más cercanos a los valores reales, una posible explicación es que el dato real obtenido de Metro S.A. es más comparable al tiempo reportado por los usuarios. Asimismo, en el gráfico del tiempo de viaje se muestra que la variabilidad de las percepciones aumenta a medida que aumenta el tiempo de viaje, y que existe una mayor sobrestimación para los viajes más cortos. Por último, respecto a la

ocupación, se observa una alta dispersión de las percepciones, siendo menor en los valores extremos de la ocupación. También existe con una clara sobrestimación cuando existe una ocupación real del 40% y 50%.

Se obtuvo que la satisfacción de los usuarios respecto a su viaje depende la percepción del nivel de servicio, siendo la ocupación la más influyente. Como se mencionó anteriormente, esta es menos relevante para las personas que viajan sentadas y para los adultos mayores, y es más importante para los adultos jóvenes, quienes son los que califican peor el servicio. Cabe mencionar que las especificaciones de los modelos de elección y satisfacción obtenidos en este estudio difieren de lo obtenido por Soza-Parra et al. (2019), quienes mencionaban un efecto no lineal en la utilidad y satisfacción de los usuarios. Una posible explicación puede ser el contexto de medición, esta se realizó durante 4 semanas, mientras Soza-Parra et al. (2019) encuestaron cuatro días de julio.

A diferencia de estudios anteriores, esta investigación considera la operación de dos líneas recientemente inauguradas y un contexto de operación anómalo, lo que puede explicar la diferencia de las . Los resultados del modelo de satisfacción y de la clase compensatoria del modelo de elección de ruta vislumbran que existe una utilidad inherente de viajar en las líneas nuevas. Esto resulta prometedor considerando que en esta década se está planificando la apertura de tres líneas de metro.

Finalmente, es relevante mencionar la importancia que tiene la percepción de los usuarios en su comportamiento. En este experimento evidenciamos que los usuarios evalúan su viaje de acuerdo con el servicio percibido, no con el servicio entregado. De hecho, en los gráficos de percepción se ilustra la gran diferencia que existe entre la percepción y la operación real. En ese sentido, es importante que Metro S.A. considere y evalúe cómo mejorar la percepción de los usuarios, más que solo mejorar la calidad del servicio entregado.

## 6 CONCLUSIONES

En esta investigación logramos ilustrar el impacto de los niveles de servicio en el comportamiento de los usuarios, en particular en su elección de ruta, su satisfacción con el servicio y su percepción. Tanto en la elección de ruta como en la satisfacción son importantes los atributos de operación tiempos de viaje, de espera, ocupación, y si realiza el viaje en alguna línea nueva.

Este es la primera modelación de elección de ruta del Metro de Santiago que involucra las líneas 3 y 6. En esta modelación se obtuvo que el 27,6% de los usuarios buscan solo minimizar el número de transbordos, sin considerar los niveles de servicio, y que en caso de tener alternativas con igual número de combinaciones, se comportan igual que el resto de la población.

Asimismo, se evidencia la importancia de considerar la percepción de los usuarios en la operación del servicio, pues los usuarios reportan su satisfacción en base al servicio percibido. En esta investigación se hizo un esfuerzo por mostrar la distorsión de la percepción de los usuarios sobre la información real de operación. Sin embargo, la información del tiempo de espera y ocupación no son del todo comparables con la información recopilada por la encuesta. En ese sentido, futuras

investigaciones podrían involucrar las percepciones de los niveles de servicio y sus factores incidentes.

Además, resulta interesante mencionar la diferencia de satisfacción reportada por los distintos rangos etarios. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la población más joven es más exigente que los adultos mayores. Sería interesante explorar qué factores influyen en este nivel de satisfacción.

Por último, es importante mencionar que esta investigación se desarrolló en un contexto anómalo de la ciudad. Esto afectó directamente en el estudio de elección de rutas, pues no todos los usuarios tenían su ruta usual disponible. Indirectamente esto podría haber afectado en los reportes de percepción o satisfacción de los usuarios.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

Allen, J., Muñoz, J.C., Ortúzar, J. de D., (2018). Modelling service-specific and global transit satisfaction under travel and user heterogeneity. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 113 (May), 509–528. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.05.009>.

Bordagaray, M., dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecín, P. (2014). Modelling user perception of bus transit quality considering user and service heterogeneity. *Transportmetrica A: Transport Science*, 10(8), 705-721. <https://doi.org/10.1080/23249935.2013.823579>

Chorus, C. G. (2010). A new model of random regret minimization. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(2).

Daskalakis, N. G., & Stathopoulos, A. (2008). Users' perceptive evaluation of bus arrival time deviations in stochastic networks. *Journal of Public Transportation*, 11(4), 2.

De Oña, J., & de Oña, R. (2014). Quality of service in public transport based on customer satisfaction surveys: A review and assessment of methodological approaches. *Transportation Science*, 49(3), 605-622.

Dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecín, P. (2010). Modelling user perception of bus transit quality. *Transport Policy*, 17(6), 388-397.

DTPM (2019). Matrices de viaje de transporte público en Santiago durante día laboral. Santiago. Recuperado de: <http://www.dtpm.cl/index.php/documentos/matrices-de-viaje>

Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit. *Journal of public transportation*, 10(3), 2.

Fan, Y., Guthrie, A., & Levinson, D. (2016). Waiting time perceptions at transit stops and stations: Effects of basic amenities, gender, and security. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 251-264.

- Guo, Z. (2011). Mind the map! The impact of transit maps on path choice in public transit. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(7), 625-639.
- Hochmair, H. (2009). The influence of map design on route choice from public transportation maps in urban areas. *The Cartographic Journal*, 46(3), 242-256.
- Meng, M., Rau, A., & Mahardhika, H. (2018). Public transport travel time perception: Effects of socioeconomic characteristics, trip characteristics and facility usage. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 114, 24-37.
- Ortúzar, J.de.D., Willumsen, L. (2001). *Modelling Transport*. John Wiley and Sons, Chichester.
- Paquette, J., Bellavance, F., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2012). Measuring quality of service in dial-a-ride operations: the case of a Canadian city. *Transportation*, 39(3), 539-564.
- Prato, C. G. (2009). Route choice modeling: past, present and future research directions. *Journal of choice modelling*, 2(1), 65-100.
- Ramming, M. S. (2001). *Network knowledge and route choice*. Unpublished Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J. C., & Wilson, N. H. (2014). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 185-195.
- Raveau, S., Muñoz, J. C., & De Grange, L. (2011). A topological route choice model for metro. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2), 138-147.
- SECTRA. (2014). Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano, IX Etapa: Encuesta Origen Destino Santiago 2012. [base de datos]. Recuperado de: <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3253>
- Soza-Parra, J., Raveau, S., Muñoz, J. C., & Cats, O. (2019). The underlying effect of public transport reliability on users' satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126, 83-93.
- Tirachini, A., Sun, L., Erath, A., & Chakirov, A. (2016). Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences. *Transport Policy*, 47, 94-104.
- Vierordt, K. (1868). *Der zeitsinn nach versuchen*. H. Laupp.
- Yarmey, A. D. (2000). Retrospective duration estimations for variant and invariant events in field situations. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(1), 45-57.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo 1: Descripción de variables consideradas en modelo de elección de ruta

Tabla 4: Descripción variables elección de ruta

| Variable                                     | Descripción   | Unidad | Fuente              |
|--|---|--------|---------------------|
| Tiempo de viaje ( $t_v$ )                    | Tiempo de viaje de toda la ruta dentro del tren   | Hora   | Metro S.A.          |
| Tiempo de espera ( $t_{esp}$ )               | Suma de tiempo de espera de los tramos. Se asumió la mitad del headway promedio entre trenes.                       | Hora   | Metro S.A.          |
| Tiempo de caminata ( $t_{cam}$ )             | Suma de tiempos de caminata de los transbordos de la ruta.  | Hora   | Medición en terreno |
| Tiempo total ( $t_{tot}$ )                   | Suma del tiempo de viaje, caminata y espera.  | Hora   | Elab. propia        |
| Ocupación promedio ( $oc_{pr}$ )             | Promedio simple de las ocupaciones de los tramos.   | %      | Metro S.A.          |
| Ocupación por distancia ( $oc_{dist}$ )      | Promedio de las ocupaciones de los tramos ponderado por distancia del tramo.  | %      | Metro S.A.          |
| Ocupación último tramo ( $oc_{ult}$ )        | Ocupación promedio del último tramo de la ruta.   | %      | Metro S.A.          |
| Ocupación máxima ( $oc_{max}$ )              | Ocupación máxima de los tramos de la ruta.  | %      | Metro S.A.          |
| Nº de transbordos ( $transb$ )               | Número de transbordos de la ruta.   | -      | Elab. propia        |
| Subida ( $\delta_{subida}$ )                 | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el transbordo es en subida, 0 si no.   | -      | Medición en terreno |
| Escala ( $\delta_{escala}$ )                 | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si la escala del transbordos es manual, 0 si no.                                      | -      | Medición en terreno |
| Línea antigua ( $\delta_{ant}$ )             | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si toda la ruta tiene tramos en líneas antiguas (líneas 1, 2, 4 y 5), 0 si no.        | -      | Elab. propia        |
| Costo angular ( $costo_{ang}$ )              | Variable que penaliza las rutas que son menos directas (Raveau et al., 2011)  |        | Elab. propia        |
| Alejamiento del destino ( $\delta_{aleja}$ ) | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si la ruta se aleja del destino.  | -      | Elab. propia        |
| Devolución ( $\delta_{devuelve}$ )           | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si la ruta se devuelve en algún tramo.  | -      | Elab. propia        |
| Path size ( $PS$ )                           | Factor menor a 1 que indica la fracción de la ruta que representa una alternativa única (Ben-Akiva y Ramming, 1998) | -      | Elab. propia        |

## 8.2 Anexo 2: Descripción de variables consideradas en modelo de satisfacción

Tabla 5: Descripción de variables satisfacción

| Variable                              | Descripción  | Unidad |
|---------------------------------------|--|--------|
| Tiempo de viaje real ( $tv_r$ )       | Tiempo de viaje real del último tramo.   | Hora   |
| Tiempo de espera real ( $te_r$ )      | Tiempo de espera real del último tramo.  | Hora   |
| Ocupación máxima real ( $oc_r$ )      | Ocupación máxima real del último tramo.  | %      |
| Tiempo de viaje percibido ( $tv_p$ )  | Tiempo de viaje percibido del último tramo.  | Hora   |
| Tiempo de espera percibido ( $te_p$ ) | Tiempo de espera percibido del último tramo.   | Hora   |
| Ocupación máxima percibida ( $oc_p$ ) | Ocupación máxima percibida del último tramo.   | %      |
| Mujer ( $\delta_{mujer}$ )            | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el usuario es mujer.                                      | -      |
| Joven ( $\delta_{joven}$ )            | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el usuario tiene entre 18 y 25 años.                      | -      |
| Adulto mayor ( $\delta_{AM}$ )        | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el usuario tiene es mayor a 60 años.                      | -      |
| Estudio ( $\delta_{estudio}$ )        | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el propósito del viaje es Estudio.                        | -      |
| Otro ( $\delta_{otro}$ )              | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el propósito del viaje es Otro.                           | -      |
| Frecuente ( $\delta_{frec}$ )         | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si la frecuencia del viaje es por lo menos 1 vez por semana. | -      |
| Sentado ( $\delta_{sent}$ )           | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el usuario viajó sentado.                                 | -      |
| Puerta ( $\delta_{puerta}$ )          | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el usuario viajó cerca a la puerta.                       | -      |
| Línea antigua ( $\delta_{ant}$ )      | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el tramo fue en línea antigua.                            | -      |
| Transbordo ( $\delta_{transb}$ )      | Variable <i>dummie</i> . Es 1 si el viaje tiene más de un tramo.                           | -      |