

## **ANALISIS Y DESCRIPCION DE LA DEMANDA DE METRO**

**Eduardo Valenzuela Freraut y Jorge Vera González**  
Consultores en Ingeniería de Transporte, CITRA Ltda.  
Casilla 52301 Santiago, Chile.

### **RESUMEN**

La red actual de Metro, compuesta por 36 estaciones, entrega servicio directo a diversas comunas de la ciudad de Santiago. Cada una de las estaciones está inmersa dentro de un área geográfica con disimiles características y atiende a poblaciones cuya conducta y apreciación subjetiva sobre los modos de transporte y factores de los viajes, son igualmente diferentes. Parte o la totalidad de estas características y apreciaciones, influyen de alguna u otra forma en la propensión al consumo de servicios de Metro y de los servicios de transporte público de superficie (TPS).

En este contexto, el presente trabajo de investigación intenta describir y analizar la demanda de Metro en función de la ubicación geográfica de las estaciones de metro, identificando y jerarquizando los principales factores que inciden en el comportamiento de los usuarios frente a la elección modal.

Con el estudio se reafirma que los factores que predominan en la elección del modo de transporte varían en estructura y magnitud principalmente de acuerdo a la ubicación geográfica de los individuos, nivel socioeconómico de los mismos y propósito del viaje. Se definen sectores en los cuales, si bien las características son disimiles, los usuarios presentan comportamientos y valoración subjetiva del tiempo similares, definiéndose una agrupación espacial y proponiéndose factores zonales de corrección, que pueden ser aplicados a modelos de partición modal obtenidos a partir de una submuestra de la población representativa de la red de Metro.

## **I. INTRODUCCION**

La red actual de metro, compuesta por 36 estaciones, entrega servicio directa e indirectamente a diversas comunas de la ciudad de Santiago. Cada estación atiende a poblaciones de diversas características socioeconómicas, cuyo comportamiento y apreciación subjetiva sobre los modos de transporte y los factores de viaje, difieren. Por este motivo, resulta de interés contar con información que permita entregar una visión global y pormenorizada de la demanda efectiva y potencial de metro, que pueda ser utilizada para orientar las decisiones operacionales y, a su vez, proyectar en el mediano y largo plazo la utilización y el desarrollo de la red.

En esta línea de acción, a partir de los antecedentes recopilados mediante una encuesta realizada a usuarios efectivos y potenciales de metro, que residen en el área de influencia directa de las estaciones, el presente trabajo pretende obtener las variables o atributos relevantes presentes en los procesos de decisión y elección modal, así como la apreciación subjetiva que tengan de estos factores y que apunten a configurar su comportamiento.

La sección N°2 detalla la metodología utilizada para definir el universo de muestreo y el diseño de la encuesta. La sección N°3 presenta los principales resultados obtenidos en la investigación, relacionados con la agrupación espacial y la estimación de factores zonales de corrección, aplicables a modelos desagregados de partición modal obtenidos de una submuestra de la población representativa de la red de metro. Finalmente, la sección N°4 presenta las principales conclusiones y líneas de investigación futura.

## **2. DISEÑO Y REALIZACION DE LA ENCUESTA**

### **2.1. Universo de Análisis y Procedimiento de Muestreo**

El universo de muestreo considera una tramificación del área de análisis en función del conjunto de estaciones de Metro. Esta tramificación contempla los 12 tramos siguientes:

- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| -Tramo 1: San Pablo            | - Las Rejas            |
| -Tramo 2: Ecuador              | - República            |
| -Tramo 3: Los Héroes           | - La Moneda            |
| -Tramo 4: Universidad de Chile |                        |
| -Tramo 5: Santa Lucía          | - Universidad Católica |
| -Tramo 6: Baquedano            |                        |
| -Tramo 7: Salvador             | - Tobalaba             |
| -Tramo 8: El Golf              | - Escuela Militar      |
| -Tramo 9: Santa Ana            | - Cal y Canto          |
| -Tramo 10: Parque O'Higgins    | - Rondizzoni           |
| -Tramo 11: Franklin            | - Lo Vial              |
| -Tramo 12: Departamental       | - Lo Ovalle.           |

Cada tramo abarca un área geográfica limitada por un radio de cinco cuadras paralelas al eje de la red. De esta forma, en base a la información contenida en el Precio del año 1992, se pudo determinar un universo equivalente a 258.874 personas residentes en el área de análisis.

El procedimiento de muestreo estableció a priori una muestra total de 4000 encuestas (5% del universo de muestreo, aproximadamente). En tanto que, el número de casos muestrales requeridos en cada tramo fue determinado en forma proporcional a su población. Una vez establecida la muestra, se definió un procedimiento de muestreo que permitiera seleccionar aleatoriamente los casos muestrales, entendiéndose por esto, la selección de las viviendas (casa habitación o edificios de departamento) y de los individuos. Dicho procedimiento consideró los siguientes aspectos:

- Para la selección de manzanas en cada tramo, se utilizó la información contenida en el precio y se determinó el orden de prioridad de las manzanas a ser visitadas. Para tales efectos, se estableció un código identificador de las manzanas y posteriormente se realizó un ordenamiento mediante la generación de números aleatorios.
- Para la selección de viviendas, se consideró un máximo de diez encuestas por manzana, estableciéndose como punto de partida la esquina sur-poniente y avanzando según los punteros del reloj. En cada manzana seleccionada, a objeto de abarcárla totalmente, se descartó un número prefijado de viviendas entre elecciones, según fuera la cantidad de viviendas existentes en cada manzana.
- Para la selección de los encuestados, se estableció un método que considera un enlistamiento con las iniciales de los nombres de los posibles candidatos en cada hogar, seleccionando de acuerdo al orden alfabético.

Se consideraron como candidatos a todas las personas mayores de 12 años de edad, que habitaran la vivienda, que hubieran dormido la noche anterior en ella, y que hubieran realizado algún viaje mayor a cinco cuadras durante el día anterior.

## 2.2. Diseño de la Encuesta

El formulario utilizado en el muestreo, se compone de tres partes, cada una orientada a obtener diversa información para el estudio.

La primera parte recoge la caracterización del grupo familiar y de las personas que cumplen con los requisitos para ser seleccionadas. Se incluyen preguntas sobre el tamaño del grupo familiar, el número y tipo de vehículos motorizados que poseen (identificando los vehículos con restricción vehicular el día anterior). Una vez seleccionada la persona se define el sexo, su edad, algún tipo de discapacidad que posea, su ocupación (incluyendo la categoría cesante), si tiene licencia de conducir y si dispone de un vehículo para movilizarse. En caso de estudiantes, se pregunta si tienen pase escolar.

La segunda parte de la encuesta estuvo dirigida a identificar cada uno de los viajes, cuya distancia haya sido superior a cinco cuadras, efectuados por el encuestado el día anterior. El formulario se presenta de tal manera que la persona seleccionada pueda identificar con facilidad la secuencia de cada uno de los viajes realizados, empezando por el motivo del viaje, el origen, luego sus etapas y por último el destino. Para cada viaje se pregunta a la persona si tuvo algún tipo de restricción horaria, con el objetivo de diferenciar el comportamiento en la elección de modos de transporte cuando se viaja con limitaciones de tiempo.

Por último, la tercera parte de la encuesta, estuvo orientada a definir las variables relevantes y su nivel de importancia en la elección de modos de transporte, y a determinar el nivel de satisfacción de los usuarios respecto del modo de transporte utilizado en uno de los viajes realizados (viaje comparable), el cual podía ser seleccionado por el propio usuario.

Para la selección del viaje comparable, el encuestado debía escoger aquel que realizara con mayor frecuencia durante los días de semana, en el cual hubiera tenido disponible el modo metro y otro modo de transporte. Para el viaje seleccionado y el modo de transporte utilizado, se efectuó una evaluación de seis características genéricas relacionadas con la percepción subjetiva del modo de transporte utilizado, de acuerdo a una escala semántica, sobre el costo de viaje, tiempo de espera, tiempo de viaje, comodidad, seguridad y ambiente del viaje. Paralelamente, se efectuó una jerarquización de las características genéricas, de acuerdo a las condicionantes propias de cada viaje.

Esta información permitió, mediante análisis cruzados de las respuestas, distinguir por ejemplo: cuáles características, a pesar de ser evaluadas negativamente en el modo de transporte utilizado, son evaluadas positivamente al compararlo con el otro modo de transporte.

Finalmente, la encuesta incluye un formulario específico para que el encuestador establezca el nivel socio-económico del hogar visitado, de acuerdo a apreciaciones visuales de la vivienda y las personas presentes.

La encuesta definitiva fue realizada entre los días 27 de Octubre y 20 de Noviembre de 1992, obteniéndose un déficit porcentual de 0,4 % (CITRA, 1993).

### **3. AGRUPACION ESPACIAL Y FACTORES ZONALES**

#### **3.1. Caracterización Socioeconómica**

Para determinar la representatividad de la muestra, se comparó el total de viajes diarios realizados por los encuestados, por modo de transporte, con la afluencia promedio diaria de la red.

Con lo anterior, se obtuvo que, si bien la muestra representa del orden del 5% de la población del Gran Santiago, reproduce cerca del 31% del total de viajes en Metro (ver Cuadro N°1), al considerar como afluencia media diaria para un dia laboral 542.373 viajes (Metro, Anuario Estadístico 1991).

**Cuadro N°1**  
**Total de Viajes Diarios por Modo de Transporte**

Modo de Transporte	Total	Porcentaje
Metro	166.652	35,5
Metro Combinación	12.598	3,8
TPS	16.460	35,4
Auto	37.457	11,4
Taxi	5.812	1,8
Taxicolectivo	2.378	0,7
Caminata	31.060	9,4
Otros	6.644	2,0

Fuente: CITRA, 1993.

Los principales antecedentes proporcionados por la encuesta indican que la edad de los encuestados varia mayoritariamente entre los 25 y 50 años, presentando problemas de discapacidad (problemas visuales mayoritariamente) un bajísimo porcentaje.

Un análisis global de la muestra indica que la mayoría de los individuos es profesional, oficinista, dueña de casa o estudiante. Sin embargo, existe un alto porcentaje de Obreros en los tramos San Pablo-Las Rejas y Ecuador-República, al igual que comerciantes ambulantes en el tramo Parque O'Higgins-Rondizzoni.

Respecto de otras variables de segmentación, los tramos Salvador-Tobalaba y El Golf-Escuela Militar son los que presentan mayor porcentaje de encuestados con licencia de conducir, mayor disponibilidad de vehículo y un mayor número de vehículos promedio por hogar; antecedentes consistentes con el nivel socioeconómico estimado (A, B y C1, para los tramos 7 y 8).

**Cuadro N°2**  
**Caracterización Socioeconómica**

Tramo	Edad	Edad	Disc.	Trab	Resto	C/Lic	Veh./	Veh./	Nivel	Socio	Econ.
Red	<25	>60	[%]	Prof.	Trabaj.	Cond.	Disp.	Hogar	Alto	Medio	Bajo
1	33,7	8,2	22,6	7,7	44,4	10,2	9,4	0,30	1,8	64,9	62,2
2	30,3	12,7	26,0	12,4	43,3	17,0	11,7	0,31	2,4	81,4	61,2
3	26,4	10,9	8,5	25,4	50,3	32,8	18,4	0,37	6,0	91,0	38,3
4	32,3	5,9	11,8	23,5	51,4	35,3	14,7	0,31	27,9	72,1	30,9
5	29,0	9,0	8,0	25,5	56,0	34,5	17,0	0,35	8,0	86,0	27,5
6	28,4	14,9	10,8	20,3	52,8	24,3	16,2	0,38	12,2	86,5	28,4
7	25,2	14,4	20,5	26,4	52,8	43,5	37,2	0,81	44,0	55,6	12,8
8	18,1	14,2	10,1	34,6	54,2	69,2	65,4	0,53	98,1	1,9	0,4
9	25,8	6,3	53,5	39,6	54,9	36,8	25,0	0,52	1,4	86,8	27,8
10	29,2	14,2	6,0	15,7	50,0	21,6	15,7	0,35	9,7	81,4	39,6
11	26,4	15,2	10,6	16,0	36,6	22,8	27,2	0,66	18,4	72,0	31,4
12	31,1	11,4	9,1	14,7	42,0	25,1	27,2	0,68	18,8	70,4	37,1

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. Jerarquización de Variables

El cuadro N°3 presenta la calificación promedio del orden de importancia dado a las variables genéricas Costo de Transporte, Tiempo de Espera (incluye tiempo de caminata), Tiempo de Viaje, Comodidad del Modo, seguridad del modo y ambiente (variable ligada al hecho de sentirse observado y sólo ser posible mirar a otros usuarios en el modo metro), para los viajes comparables.

Al analizar la muestra según sexo del encuestado, se obtienen calificaciones similares a las presentadas, salvo en el caso de la comodidad y seguridad del modo, que resultaron mejor valorizadas por el sexo femenino. En el análisis según motivo de viaje, como era de esperar, el tiempo de viaje y el tiempo de espera son mejor valorizados por los motivos de trabajo, estudios y vuelta al hogar; en cambio, el motivo recreación valoriza mejor la comodidad, y el motivo trámites, la seguridad del modo. Considerando como variable de segmentación el modo de transporte, los usuarios de metro y metro-combinación valorizan en primer lugar el tiempo de espera y luego el tiempo de viaje; en cambio los usuarios de taxi valorizan mejor la seguridad y comodidad. En cambio, los usuarios de vehículos particulares valorizan indiscutiblemente mejor el tiempo de espera y la seguridad.

Al analizar la muestra por tramo, se observa que en general el tiempo de espera es la variable de mayor valoración, seguida por la seguridad y el tiempo de viaje, los que se alternan según sea el tramo analizado.

**Cuadro N°3**  
**Calificación Promedio de Variables para Viajes Comparables**

Tramo	Costo	T.E.	T.V.	COM	SEG.	AMB
1	3.62	4.23	3.77	3.27	4.04	2.06
2	3.40	4.25	3.91	3.41	4.14	1.90
3	3.50	4.30	4.24	3.32	3.64	2.03
4	3.13	4.45	3.83	3.47	3.95	2.17
5	3.38	4.24	4.03	3.64	3.61	2.09
6	3.42	4.32	3.43	3.67	3.60	2.52
7	3.50	4.31	3.78	3.44	3.72	2.25
8	2.71	4.39	3.84	3.55	4.02	2.46
9	3.08	4.23	3.64	3.55	4.27	2.22
10	4.06	4.06	4.09	3.30	3.77	1.71
11	3.86	4.02	3.58	3.27	4.08	2.19
12	3.67	4.08	3.90	3.20	3.94	2.22
Total	3.50	4.24	3.82	3.39	3.94	2.12

Fuente: CITRA, 1993

### 3.3. Valor Subjetivo del Tiempo

El valor subjetivo del tiempo (VST) como indicador económico, refleja el grado de intercambio entre tiempo y dinero que las personas están dispuestas a transar cuando toman sus decisiones de viaje. En consecuencia, conociendo el VST es posible explicar diferencias de comportamiento de los usuarios frente a la elección modal.

Para el presente estudio, se calibraron diversos modelos desagregados de partición modal, que incluyeron exclusivamente las variables tiempo total puerta a puerta (tiempo de espera, tiempo de caminata y tiempo de viaje) y costo de transporte. Estas variables fueron generadas para el modo elegido y el modo alternativo definido por los entrevistados, en función de las intersecciones origen-destino del viaje. La muestra utilizada corresponde a un subconjunto de la muestra original obtenida, que incluye 2100 viajes en modos sin combinación (bus, metro, auto y caminata).

El modelo seleccionado, presenta la siguiente forma funcional para la componente determinística de la utilidad:

$$V_i = A_i + \left[ \sum_{j=1}^{12} \beta_j \delta T_j \right] t_i + \left[ \sum_{r=1}^2 \gamma_r \delta S_r \right] c_i$$

Donde,  $t_i$  corresponde al tiempo total de viaje puerta a puerta,  $c_i$  es el costo de transporte,  $\delta T_j$  es una variable muda que indica el tramo asignable al encuestado,  $\delta S_r$  es una variable muda que indica el estrato socioeconómico del encuestado, diferenciando entre estrato Medio-Alto y Bajo; y  $A_i$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_r$  son los parámetros a calibrar.

En base a los resultados obtenidos en el modelo, se determina el VST según estrato socioeconómico y tramo de la red (ver cuadro N°4), información que permite realizar test de diferencia entre los valores obtenidos a objeto de definir la significancia de las diferencias, y realizar una agrupación de los tramos en función de este indicador.

**Cuadro N°4**  
**Valor Subjetivo del Tiempo según Estrato (\$/min de Enero de 1993)**

Tramo	Medio-Alto	t-estad.	Bajo	t-estad.
1	36,7	7,23	7,0	2,44
2	31,7	6,82	6,0	2,43
3	22,3	3,58	4,2	2,10
4	39,1	3,10	7,4	1,97
5	26,8	4,13	5,1	2,21
6	37,4	3,02	7,1	1,96
7	40,8	4,63	8,0	2,38
8	43,1	4,62	8,2	2,37
9	24,8	4,08	4,7	2,18
10	34,6	4,01	6,6	2,18
11	42,4	6,83	8,1	2,42
12	36,9	6,19	7,0	2,42

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. Agrupación Espacial

Con la información recopilada es posible realizar diversas agrupaciones de los tramos de la red de metro. Particularmente, en el presente estudio se realizaron agrupaciones basadas en Análisis de Conglomerados (ver Cramér, H. 1968), los cuales permiten establecer grupos homogéneos mediante la minimización de alguna "medida de distancia" entre la media de los grupos y sus componentes. Como medida de distancia se utilizó el cuadrado de la distancia euclíadiana (suma de los cuadrados de las diferencias sobre todas las variables de agrupación).

Por restricciones de espacio, sólo detallan las siguientes agrupaciones, cada una con cinco grupos preestablecidos:

- Agrupación según edad. Basada en los porcentajes de individuos menores de 25 años y mayores de 60 años.
- Agrupación según discapacidad. Para esta agrupación se considera el porcentaje de individuos que presenta algún problema de discapacidad.
- Agrupación según oficio. En esta agrupación se considera el porcentaje de personas que realiza algún tipo de actividad remunerada y además el porcentaje de profesionales.

- Agrupación según disponibilidad de vehículos en el tramo. De acuerdo a este criterio, los tramos de Metro se agrupan según el porcentaje de individuos con vehículo disponible, el porcentaje de individuos con licencias de conducir y el número medio de vehículos por hogar.
- Agrupación según nivel socioeconómico. En base a la caracterización de la vivienda, esta agrupación se realiza considerando los porcentajes de vivienda obtenidas en cada estrato socioeconómico.
- Agrupación según jerarquización de variables. Esta agrupación se realiza en función de la importancia asignada a cada una de las variables consideradas.
- Agrupación según valor subjetivo del tiempo. Para esta agrupación se utilizaron los VST obtenidos para los estratos Medio-Alto y Bajo.
- Agrupación Global. Esta agrupación se realiza considerando todos los criterios antes definidos.

**Cuadro N°5**  
**Agrupación Espacial Propuesta**

Criterio	Grupo N°1	Grupo N°2	Grupo N°3	Grupo N°4	Grupo N°5
Edad	01,04	02,05,12	03,06,07,10, 11	08	09
Discapacidad	01,07	02	03,04,06,08, 11,12	05,10	09
Oficio	01,02	03,04,05,06,07	08,09	10	11,12
Disponibilidad de Veh.	01,02	03,04,05,09	06,10,11,12	07	08
Nivel Socioeconómico	01,02	03,05,06,09,10	04,11,12	07	08
Jerarquía de Variables	01,02,11,12	03,05,07	04,08,09	06	10
VST	01,04,06,10, 12	02	03	05,09	07,08,11
GLOBAL	01,02	03,04,05,06,10 11,12	07	08	09

Fuente: Elaboración Propia

La información anterior, permite confirmar que los factores que predominan en la elección del modo de transporte varian en estructura y magnitud principalmente de acuerdo a la ubicación geográfica de los individuos y su nivel socioeconómico. Sin embargo, es posible definir sectores en los cuales, si bien las características son disímiles, los usuarios presentan valoración subjetiva del tiempo similar. Con esto, es posible definir una agrupación espacial de acuerdo las variables analizadas y proponer factores zonales para la corrección de los VST a partir de la información obtenida en un tramo específico.

A modo de ejemplo, el cuadro N°6 presenta los factores de corrección considerando como base el tramo N°7 (Salvador-Tobalaba). Entonces, sólo es necesario obtener información representativa de dicho tramo y, mediante los factores de corrección, determinar el VST del resto de los grupos o incluso, de cada tramo.

**Cuadro N°6**  
**Factores Zonales de Corrección por Estrato**

Grupo	Tramos	Medio-Alto		Bajo	
		VST	Factor	VST	Factor
1	01,02	34,2	0,838	6,2	0,813
2	03,04,05,06,10,11,12	34,2	0,838	6,2	0,813
3	07	40,8	1,000	8,0	1,000
4	08	43,1	1,056	8,2	1,025
5	09	24,8	0,608	4,7	0,588

Fuente: Elaboración Propia

#### 4. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El presente estudio estuvo dirigido a determinar una agrupación espacial del área directa de influencia de Metro, en función de características socioeconómicas de los residentes, además de su percepción con respecto a las variables de nivel de servicio de los modos de transporte urbano y el valor subjetivo del tiempo.

Hecha la agrupación de los tramos, según diversos criterios, se desprende que no existen factores comunes que permitan definir una agrupación única. Sin embargo, en relación a la importancia relativa de las variables de nivel de servicio, se desprende que prácticamente en todos los tramos, con la excepción de los tramos 09, 10 y 11, el tiempo de espera es definida como la variable más importante. Esto confirma los resultados obtenidos en modelos desagregados de partición modal, donde el tiempo de viaje es valorado en la mitad del tiempo de espera.

Por otro lado, la calificación promedio de las diversas variables son similares a los resultados obtenidos por Ortúzar, Ivelic y Candia (1991), para el periodo punta mañana. Es decir; los usuarios de Metro califican entre regular y malo (nota entre 3,0 y 4,0) los atributos del modo alternativo.

En relación al mecanismo de obtención del VST en cada tramo de la red de Metro, si bien puede ser simplista, en la práctica pareciera ser adecuado, ya que permite obtener resultados a nivel de estudio preliminar en forma expedita y de magnitud más razonable que los calculados en otros estudios de transporte urbano.

Por otro lado, entre las ventajas de estimar VST diferenciados por tramo de la red de Metro o en lo posible por estación de Metro, está el hecho de poder definir políticas orientadas ya sea a la tarificación diferenciada según estación de entrada/salida o bien, a mejorar y evaluar la infraestructura de las estaciones de Metro.

Una linea de investigación deseable, sería el estimar VST relacionados con variables que permitan reproducir su evolución en el tiempo, dentro de cada zona analizada. En este contexto, variables relacionadas con el uso de suelo y/o el valor del terreno (proxi al nivel socioeconómico), pueden ayudar a estos efectos ya que pueden ser obtenidas o estimadas sin mayor complejidad a nivel agregado.

#### REFERENCIAS.

- CITRA, Ltda.(1993) Análisis y Descripción de la Demanda de Metro, Informe Final, Enero 1993.
- Carmér, H. (1968) Mathematical Methods of Statistic, Ediciones Aguilar, Madrid.
- Ortúzar, Ivelic y Candia (1991) Análisis de Niveles de Servicio en Transporte Público. Actas del V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago.