

## ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PARA UNA ESTACIÓN DE LA LÍNEA 3 DEL METRO DE MEDELLÍN

Iván SARMIENTO ORDOSGOITIA \*, Magda BERMÚDEZ C. †

### RESUMEN

El presente documento contiene el estudio de la demanda de viajes para una Estación sobre la Línea 3 del Metro de Medellín. La estimación de la demanda se realizó a partir de encuestas de Origen-Destino ejecutadas sobre la correspondiente área de influencia.

### ABSTRACT

This paper presents the demand estimation for a Metro station in the Line 3 of the Metro of Medellin. This estimation (14.600 pasenger/day) is based on a origin-destination survey at the influence area of the project.

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, el Metro de Medellín posee una línea de enlace denominada Línea C o línea 3 que opera en las horas pico, entre las estaciones Niquía y San Javier sin pasar por el centro de la ciudad. El enlace entre las estaciones Caribe y Suramericana se realiza a lo largo del corredor del río. Se propone una nueva estación en un sitio intermedio de este recorrido con el objeto de ampliar el servicio a la comunidad ofrecido por esta línea, creando una nueva accesibilidad en un sistema tan importante como el Metro e incrementando las posibilidades de interconexión entre los sitios e instituciones localizados en su área de influencia y el resto de la ciudad (ver figuras 1 y 2).

La nueva estación, llamada preliminarmente “Estación Universidad Nacional”, que se localizaría sobre la Avenida del Río (costado occidental) en el tramo comprendido entre la calle Colombia (cl. 50) y el puente Horacio Toro Ochoa, plantea una serie de corredores peatonales para lograr su conexión con el área de influencia inmediata, así:

Estación – Universidad Nacional : 250 m

Estación – Plaza Minorista : 125 m

Estación – Sena : 250 m

Estación – Biblioteca Pública Piloto : 100 m

---

\* Profesor Departamento Ingeniería Civil. Posgrado en vías y transporte.

† Ingeniera civil. Estudiante Posgrado en vías y transporte

El área de influencia directa del proyecto la constituyen las siguientes instituciones o unidades residenciales: Universidad nacional núcleo agronomía, unidad residencial Carlos E. Restrepo, Plaza Minorista, SENA y Biblioteca Pública Piloto. En un sentido más amplio, su área de influencia se podría extender con menor afectación a las siguientes instituciones y núcleos poblacionales: Universidad San Buenaventura, Museo de Antioquia y Museo de Arte Moderno de Medellín, Barrio Carlos E. Restrepo, sector Suramericana y Ecoparque Cerro El Volador.

Estas son las imágenes correspondientes a la localización y proyecto arquitectónico que se propone.

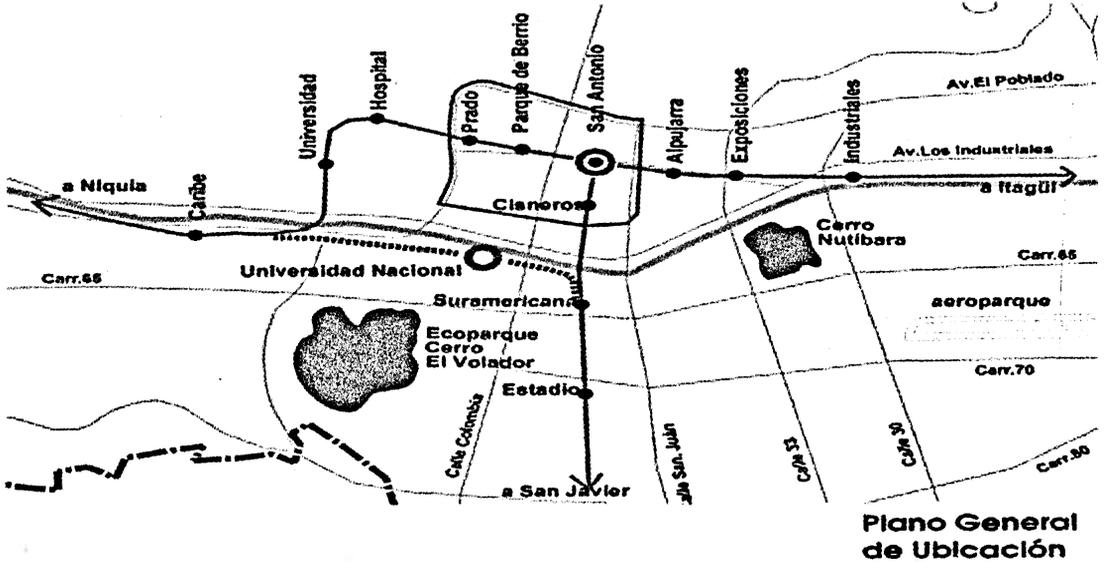


FIGURA 1. Localización de la nueva estación

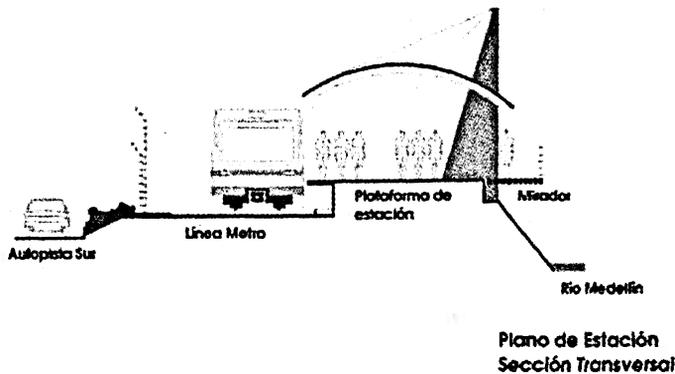


FIGURA 2. Sección transversal de la nueva estación

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la estimación de la demanda consiste realizar una inferencia estadística de la población potencial usuaria (universo) a partir de las respuestas de unas encuestas (muestra). Las encuestas consignan información respecto a los viajes con uno de sus extremos en el área de influencia de la estación. La información básica se refiere a dirección, tiempo total de duración del viaje (en minutos) y modos de transporte utilizados, lo cual responde a los dos criterios fundamentales que se tuvieron en cuenta al realizar el análisis de las encuestas: TIEMPO y TARIFA. Las encuestas que no tuvieron respuestas a cualquiera de tales interrogantes se desecharon.

Los formatos de encuestas cambiaban en algunas preguntas según ciertas particularidades de la población a encuestar.

En total, la población residente y visitante del área de influencia directa es de 48.927 personas (según oficinas de planeación de las entidades), pero inicialmente sólo se estudió el área sin la Biblioteca Pública Piloto, es decir, una población de 43.867 (Tabla 1).

**TABLA 1.** Cobertura de las encuestas

ÁREA DE INFLUENCIA		POBLACIÓN (N° personas)	MUESTRA (N° personas)	COBERTURA ( % )
Universidad Nacional	Estudiantes	6366	281	4.4
	Docentes	643	24	3.7
	Empleados	675	33	4.9
	<b>TOTAL</b>	<b>7684</b>	<b>338</b>	<b>4.4</b>
Carlos E.	<b>TOTAL</b>	<b>2574</b>	<b>306</b>	<b>11.9</b>
Plaza Minorista	Locales	8250	212	2.6
	Vended.Ambulantes, Coteros y Varios	1280	23	1.8
	Administración COOMERCA	110	0	0.0
	SUBTOTAL Población Fija	9640	235	2.4
	Población Flotante (Visitantes )	15000	383	2.6
	<b>TOTAL</b>	<b>24640</b>	<b>618</b>	<b>2.5</b>
SENA	Centro Servicio	1600	0	0.0
	Centro Comercio	4094	146	3.6
	Centro Salud	3075	75	2.4
	Administración	200	13	6.5
	<b>TOTAL</b>	<b>8969</b>	<b>234</b>	<b>2.6</b>
<b>TOTAL</b>		<b>43867</b>	<b>1496</b>	<b>3.4</b>

Las encuestas en la Universidad Nacional fueron realizadas a mediados de febrero en los días comprendidos entre lunes y viernes. En la Plaza Minorista, las encuestas se llevaron a cabo los días 8, 9 y 10 de abril ( sábado, domingo y lunes). En el SENA, las encuestas se ejecutaron los días 7, 11 y 12 de abril ( viernes, martes y miércoles).

### **Encuestas en la Universidad Nacional- Núcleo Agronomía**

Las encuestas consignan todos los viajes realizados en el día por el encuestado con uno de sus extremos en la U.N. Con el objeto de lograr una buena cobertura de toda la población universitaria, en la ejecución de las encuestas, se obtuvo con el Departamento de Planeación un registro de toda la población universitaria distribuida en los diferentes programas académicos. A partir de dicho registro se obtuvo el número de encuestas que deberían constituir la muestra (en principio, 5% de la población) y su distribución por carreras universitarias. Para garantizar la aleatoriedad de la muestra se realizó una selección del personal a encuestar sobre los registros existentes mediante la función número aleatorio que desarrollan las calculadoras. Ante la necesidad de obtener la información de los viajes realizados durante el día, se decidió hacer encuestas por teléfono durante la noche. Debido a la cantidad de tiempo que implicaba esta metodología (el horario de trabajo se reducía al período de tiempo comprendido entre las 6:00 p.m. y las 9:00 p.m.), se optó por combinar este método con encuestas diurnas, realizadas al interior de la U.N. sobre personas que solamente llenaban el requisito de pertenecer a un programa académico en particular, donde se registraba la movilidad del día anterior.

La población a evaluar se limitó a los viajes con origen o destino en la Universidad Nacional sede Agronomía, sin tener en cuenta los desarrollados desde o hacia la facultad de Minas.

La información recogida por dichas encuestas es la siguiente :

- Datos Generales : nombre, dirección, teléfono, sexo, carrera.
- Origen o Destino de cada uno de los viajes hechos en el día **hacia o desde la Universidad**
- Tiempos de Viaje: Hora de Inicio y **Tiempo Total de Viaje**.
- Etapas del Viaje según **Modo de Transporte** utilizado:
 

1. Caminata	2. Bus	3. Bus de la U.N.	4. Metro
5. Colectivo	6. Taxi.	7. Bicicleta	8. Moto
9. Automóvil			
- Portería utilizada: 1. Carabineros 2. La Iguaná 3. Salida a Carlos E. Restrepo
- Información adicional para Modo de Transporte BUS: Nombre y Número de la Ruta, Paradero Final o Inicial utilizado.

### **Encuestas en la unidad residencial Carlos E. Restrepo**

Las encuestas correspondientes a este núcleo poblacional fueron ejecutadas por el METRO y a partir de la base de datos aportada por dicha institución se llevó a cabo el análisis. A diferencia de las encuestas realizadas en la Universidad Nacional donde se pregunta por la movilidad de todo un día, aquí se llevan a cabo dos tipos de encuesta según la característica

presentada por el viaje, así : DE DÓNDE VIENE? y PARA DÓNDE VA?. Adicionalmente la encuesta pregunta por la frecuencia con que se realiza el viaje en la semana. Asimismo, el encuestado responde al interrogante respecto al tiempo de viaje mediante selección de intervalos de 15 minutos que le ofrece la encuesta. El análisis de la encuesta toma como dato el valor medio del intervalo.

Vale la pena anotar que estas encuestas adolecieron de la opción con transbordo BUS + BUS ó COLECTIVO + COLECTIVO, la cual es una modalidad de transporte muy importante como fuente de viajes para el Metro por la tarifa que implica así como por el tiempo, máxime si los correspondientes viajes se localizan en zonas que son parte del área de influencia directa del corredor del Metro donde se enfrenta la opción METRO con las mencionadas. Sin embargo, esta omisión se constituye en un margen o colchón adicional al resultado final y, por tanto, trabaja del lado de la seguridad, suponiendo que los usuarios de la unidad Carlos E. Restrepo no hacen este tipo de transbordos en sus viajes cotidianos.

De otra parte, las encuestas realizadas contemplan respuestas a diferentes interrogantes sobre INTENCIÓN DE USO DE LA NUEVA RUTA, las cuales no se tuvieron en cuenta al realizar el presente análisis, debido a los malos resultados que de ese tipo de respuestas subjetivas, se ha tenido en otros estudios. Aquí se utilizará un método mas racional para llegar a la estimación del número de usuarios de la estación, como son la consideración de elementos cuantificables como valor de tarifa y tiempo de viaje.

Por último, la población total de la Unidad Residencial Carlos E. Restrepo se calculó a partir de los datos consultados en el Departamento de Planeación de la ciudad de donde se obtuvo que el Área bruta es de  $69.800 \text{ m}^2$ , el Área Total Construida de  $73.286 \text{ m}^2$  y un número de 572 apartamentos. Con el objeto de obtener un resultado sobre población se supuso un índice de ocupación de 4.5 personas por apartamento obteniendo una población total de 2.574 personas.

### **Encuestas en la Plaza Minorista**

El encuestado responde a dos grandes interrogantes: características del VIAJE DE LLEGADA y características del VIAJE DE SALIDA. Además de las preguntas básicas (incluyendo la frecuencia del viaje en la semana), para el VIAJE DE LLEGADA se pregunta sobre el motivo del viaje (trabajo, compras, salud porque existe un centro de salud al interior de la plaza), lo cual ayuda a solucionar dudas sobre composición de la muestra así como sobre combinaciones de modos de transporte o sobre intervalos de tiempo. Asimismo, se incluye para el viaje de llegada una pregunta sobre intención de uso de la nueva ruta ofrecida por el metro con una tarifa de \$500, bajo la condición de recorrer un puente peatonal de 400 m y con diferentes tiempos de espera (6, 7 a 8, 9 a 10 minutos).

De otra parte, para el VIAJE DE SALIDA, se le pregunta al encuestado si lleva bolsas o paquetes que le impidan su viaje en Metro. La respuesta a este interrogante es definitiva en el proceso de selección de viajes captados para el Metro. Una respuesta positiva es sinónimo de un viaje rechazado para el Metro así sean favorables las respuestas respecto a tiempo de viaje y modos de transporte utilizados.

Ante la incertidumbre existente respecto a la exactitud en la apreciación del tiempo por parte del encuestado, se acogió el método sugerido por el METRO al considerar intervalos de tiempo como opciones de respuesta. Con el fin de lograr mayor precisión se plantearon intervalos de 10 minutos, para que el encuestado diga cuál fue su tiempo de viaje.

Los modos de transporte ofrecidos como opciones al encuestado fueron:

- |              |              |                   |                      |
|--------------|--------------|-------------------|----------------------|
| 1. Caminata  | 2. Bus       | 3. Dos Buses      | 4. Empresa o Escolar |
| 5. Metro     | 6. Colectivo | 7. Dos Colectivos | 8. Taxi              |
| 9. Bicicleta | 10. Moto     | 11. Particular    | 12. Informal         |

Para la realización de las encuestas se contó con la participación de la cooperativa de mercado de la plaza COOMERCA, la cual pagó y seleccionó el personal de tres (3) encuestadores. Infortunadamente, a pesar de que dichas personas tuvieron una capacitación previa para la ejecución de las encuestas, se presentaron bastantes incongruencias en las respuestas dadas, en particular en lo referente al tiempo y las modalidades de transporte correspondientes. En general, las respuestas respecto al tiempo de viaje eran muy optimistas (tiempos de viaje cortos) si se compara con la realidad. Sin embargo, este tipo de respuesta actuaba del lado de la seguridad pues al considerar dicho factor se reduce la posibilidad de seleccionar el viaje como nueva captación para el sistema Metro.

Por último, el incumplimiento de un encuestador en su labor y la premura del tiempo, no permitió llegar a la meta propuesta respecto al tamaño muestral de un 3% de la población.

### **Encuestas en el SENA**

El tipo de encuestas es similar al explicado en la plaza minorista con la diferencia de que se eliminó la pregunta referente a la presencia de bolsa o paquetes que dificulten el viaje en Metro, dado que los estudiantes no cargan paquetes que hagan desistir de un viaje en Metro. La ejecución de las encuestas estuvo a cargo de personal idóneo del SENA.

### **Grado de confianza de la muestra**

Se hizo un cálculo posterior de chequeo del grado de confianza de las muestras obtenidas y se encontró que la media de viajes por día de la Univ. Nacional es de 2.63 y su coeficiente de variación es de 0,36, para el caso de Carlos E Restrepo la media de viajes por semana es de 8.77 y el coeficiente de variación de 0,17, y para el SENA, la media de viajes por semana fue de 10,67 y el coeficiente de variación de 0,20. Con estos valores y aceptando un error del 0% en la determinación de la media los grados de confianza de las cantidades de encuestas realizadas (Tabla 1) superan el 99%. Los casos de la Plaza Minorista y la Biblioteca también están dentro de estos márgenes.

## Elementos para el análisis de las encuestas

### Tarifas y Valor del Tiempo

La evaluación de las encuestas para obtener el grupo de **Usuarios Potenciales del Metro de una Estación sobre la Línea 3**, se realizó a partir de los siguientes criterios:

- Se usaron las siguientes tarifas, correspondientes a la situación actual:

Metro : \$500      Bus : \$550      Colectivo o Microbús: \$750      Informal : \$750  
 Tarifa para rutas de buses integradas al sistema metro (SIT) : \$450      Taxi : \$1500 de tarifa mínima correspondiente aproximadamente a los primeros 15 minutos. El valor del minuto adicional es del orden de \$45 (la norma contempla a \$90 el kilómetro que a una velocidad de operación de 30 km. / h significa un valor de \$45 para el minuto adicional).

Las tarifas para las diferentes combinaciones posibles de modos de transporte se calculan a partir de la suma de los valores individuales para los diferentes modos que intervienen.

En particular, el análisis se lleva a cabo en un contexto caracterizado por tarifas en el sistema Metro menores o iguales a las ofrecidas por el sistema BUS.

- La cuantificación del valor del tiempo para cada núcleo poblacional evaluado se estableció a partir de un número de salarios mínimos, así :
- Para la Universidad Nacional (en su gran mayoría población estudiantil), el SENA (en su gran mayoría aprendices), y la Plaza Minorista (en su gran mayoría: población flotante que va de compras y cuyo valor del tiempo para tal situación es bastante bajo de un lado y de otro población fija de empleados de locales, vendedores ambulantes, coteros y mano de obra rasa) se tomó UN SALARIO MÍNIMO. Luego :

Valor Salario Mínimo :	\$ 260.100
Subsidio de Transporte :	\$ 26.413
Factor Prestacional 30%	\$ 85.954
TOTAL VALOR MES ( 30 * 8 * 60 = 14.400 minutos )	\$ 372.467
<b>VALOR MINUTO</b> ( \$ 372.467 / 14.400 minutos = \$25,87)	<b>\$ 26</b>

- Para la Unidad Residencial Carlos E. Restrepo (población de estrato medio) se tomó como base la suma de CUATRO SALARIOS MÍNIMOS. Luego :

Valor Salario Mínimo : ( 4 * \$ 260.100 )	\$ 1.040.400
Factor Prestacional 30%	\$ 312.120
TOTAL VALOR MES ( 30 * 8 * 60 = 14.400 minutos )	\$ 1.352.520
<b>VALOR MINUTO</b> ( \$ 1.352.520 / 14.400 min. = \$93,9)	<b>\$ 94</b>

## Viajeros Cautivos del Transporte Público

El análisis se centró sobre el grupo de **Viajes Cautivos del Transporte Público**. En consecuencia, no se tuvo en cuenta para el análisis los viajes cuyo único modo de transporte correspondió a transporte privado, así: Ruta de la U.N., Empresa o Escolar, Automóvil, Moto, Bicicleta ó Caminata ó una combinación entre ellos, es decir que no interviene ninguna forma de transporte público (Metro, Bus, Colectivo, Taxi)

En caso de tener una combinación de transporte público y privado, sólo se tendrán en cuenta los primeros y se omiten los pertenecientes al transporte privado ( generalmente, caminata ).

Para el estudio de la demanda se realizó la codificación de las direcciones de los diferentes viajes de acuerdo a los códigos establecidos por el SIT para el área metropolitana en el año 1.999.

Tipologías de Viajes según Área de Influencia del Metro y del SIT.

Los viajes se clasificaron en tres tipos:

- Viajes con origen o destino localizados sobre el área de influencia directa del Metro a lo largo de sus tres líneas: 1, 2, 3.
- Viajes con origen o destino localizados sobre el área de influencia directa del sistema integrado del metro.
- Viajes con origen o destino no localizados sobre ninguna de las áreas anteriores.

(a) Viajes con origen o destino localizados sobre el área de influencia directa del Metro a lo largo de sus tres líneas: 1, 2, 3.

- Se define como Área de Influencia Directa del Metro a las zonas aledañas existentes sobre ambos márgenes del corredor del Metro cuyo punto más lejano esté dentro de un radio de 565 m respecto a la estación más cercana. El radio de 565 m en línea recta corresponde a una caminata de 800 m efectuada entre esquinas de manzanas. En la ciudad, ante la presencia de construcciones, una persona no puede caminar en línea recta, por esto se supusieron manzanas cuadradas y, por tanto, se aplica un factor de ajuste igual a  $\sqrt{2}$ . Luego,  $800 \text{ m} / \sqrt{2} = 565 \text{ m}$ .

Se establece dicho criterio teniendo en cuenta que la población a analizar es en su mayoría trabajadora rasa y estudiantil con un comportamiento muy homogéneo respecto a la predisposición a caminar motivada por la necesidad económica o por el hábito de caminar. De otra parte, es válido observar que dicho valor ocurre estrictamente para situaciones de frontera puesto que el valor medio expresado como la distancia desde el centroide de las diferentes áreas cobijadas por dicho radio de acción y la estación de Metro corresponde a 400 m, por tanto el valor máximo de 800 m de caminata es razonable.

- El **PORCENTAJE DE INFLUENCIA** ó porcentaje de población de cada barrio que queda cubierta dentro de la categoría Area de Influencia Directa del Metro se determina mediante la relación entre la cantidad de manzanas envueltas por el radio de acción de 565 m y la cantidad total de manzanas que conforman el barrio. Donde el plano de Medellín utilizado para la presente investigación (escala 1 : 10000) presentaba las zonas de equipamiento urbano de los diferentes barrios (centros de salud, polideportivos, parques, unidades educativas, etc.) dichos espacios no se tenían en cuenta. No sobra destacar aquí que la exactitud lograda en los parámetros mencionados corresponde, en primer lugar, a la precisión ofrecida por un plano escala 1 : 10000 y cuando la situación no es lo suficientemente clara, el cálculo se realiza de forma aproximada teniendo en cuenta los límites de los diferentes barrios.
- El **TIEMPO DE VIAJE** se determina a partir de la información de matrices de tiempos de viaje entre estaciones del metro (que incluye tiempo de parada y tiempo de marcha) suministrada por la Gerencia de Operaciones – Unidad de Ingeniería del Metro e interpolando para la nueva estación que se plantea entre las dos estaciones de enlace (Suramericana y Caribe) se obtienen los tiempos de viaje, en el sistema Metro, desde las diferentes estaciones a la del proyecto.

Si los barrios analizados quedan bajo la zona de influencia de la línea A **entre las estaciones Caribe e Itagüí**, se considera **un solo transbordo** y, en tal sentido, se tiene como punto obligado la estación Caribe para llegar al destino final que sería la nueva estación intermedia entre Caribe y Suramericana para la Línea 3. En consecuencia, se calcula el tiempo existente entre la estación correspondiente y la estación Caribe más el tiempo de viaje entre ésta y la intermedia objeto del presente análisis. Es posible que el usuario prefiera hacer dos transbordos y utilizar las estaciones San Antonio y Suramericana, pero en términos de tiempo de viaje que incluye demoras por transbordos se compensan ambos recorridos. No sobra aclarar que el tiempo de viaje incluye los tiempos de marcha y de parada.

- Asimismo, se adoptó como tiempo de espera en la estación un valor de 6 minutos que equivale al tiempo medio para un intervalo de paso de 12 minutos. El tiempo de acceso inicial del usuario en cada barrio, perteneciente al área de influencia directa del Metro, a la estación más cercana se propone que sea de 5 minutos. Ello corresponde al tiempo gastado por una persona que camina 400 m a una velocidad de 5 km / h De igual forma, se plantea como tiempo final de acceso del usuario desde la estación en la Línea C a cada uno de los núcleos poblacionales evaluados como área de influencia de dicha estación un valor de 5 minutos. En forma aproximada, se calcula que tales sectores (Universidad Nacional, Unidad Residencial Carlos E. Restrepo, Plaza Minorista, Sena) son equidistantes respecto a la nueva estación (distancia  $\cong$  400 m).
- En resumen, para este primer grupo de viajes se plantea la siguiente expresión como forma de evaluar el tiempo en Metro:
 
$$\begin{aligned} \text{Tiempo total de viaje} = & \text{ tiempo de acceso inicial (5 min) +} \\ & \text{ tiempo de espera en estación (6 min) +} \\ & \text{ tiempo de marcha y de parada del metro +} \\ & \text{ tiempo de acceso final (5 min)} \end{aligned}$$

(b) Viajes con origen o destino localizados sobre el área de influencia directa del Sistema Integrado del Metro (SIT).

➤ Se intenta aquí una clasificación de los barrios según el grado de desarrollo del SIT. A partir de la información suministrada por el SIT sobre recorridos de las rutas integradas al Metro que funcionan actualmente, tarifas, velocidades promedio de operación, se halló el área de influencia del SIT. Aquí son válidos los planteamientos expuestos anteriormente respecto a la determinación de los barrios que conforman dicha área de influencia y su respectivo porcentaje de influencia. Adicionalmente, se plantea la posibilidad de que existan cinco rutas para la ciudad de Medellín, con estudio de factibilidad, en el futuro y se encuentran sus áreas de influencia. Los resultados responden, en consecuencia, a cada una de esas condiciones, es decir Viajes Captados para el Metro CON RUTAS PROYECTADAS y SIN RUTAS PROYECTADAS.

➤ En la Tabla 2, se muestran las rutas integradas, así analizadas, para la ciudad de Medellín. Asimismo se anexa el plano esquemático de dichas rutas. Las rutas evaluadas para los municipios de Bello, Itagüí, Caldas y San Antonio de Prado corresponden a las existentes actualmente.

Tiempo total de viaje = tiempo de acceso inicial (tiempo caminata) +  
 tiempo de espera bus integrado (6 min) +  
 tiempo de viaje bus integrado +  
 tiempo de espera en estación (6 min) +  
 tiempo de marcha y de parada del metro +  
 tiempo de acceso final (5 min)

Tiempo de Acceso Inicial: A partir de la distancia existente entre el centroide del área de cada barrio y la ruta integrada al Metro y suponiendo una velocidad de marcha del peatón de 5 km / h , se establecen los tiempos de caminata.

Tiempo de Viaje en la Ruta Integrada: A partir de la distancia existente entre el punto de referencia de la ruta integrada correspondiente al centroide del barrio y la estación más cercana al Metro y suponiendo una velocidad de operación promedio de 15 km/h, se establecen los tiempos de viaje. A partir de los valores suministrados para algunas rutas de buses del SIT y siendo conservadores se adoptó un valor bajo para la velocidad, 15 km/ h.

➤ Los tiempos adoptados para el municipio de Envigado se tomaron del trabajo del Plan Vial y de Transporte de Envigado que realiza el Posgrado en Vías y Transporte de la Universidad Nacional. Dicha información estipula los tiempos de viaje desde los diferentes barrios que conforman Envigado a la estación de Metro más cercana mediante el uso del programa de computador TRANSCAD, que tiene en cuenta la infraestructura vial existente y sus grados de congestión vehicular. Estos resultados de tiempo se suman a los que arroja la matriz de tiempos entre estaciones (suministrada por el Metro) para obtener el valor final de tiempo total de viaje desde cada barrio a la estación intermedia que se plantea.

TABLA 2. Rutas SIT actuales y proyectadas en Medellín.

TIPO RUTAS	CODIGO	NOMBRE RUTA	ESTACIÓN DE INTEGRAC.	TARIFA (\$)	VELOC. OPERAC (KM / H)	Nº BUSES
RUTAS ACTUALES:	002 I	SANTA RITA	ACEVEDO	650 i †		5
	283 I	BARRIO NUEVO	ACEVEDO	400	14	23
	308	DE LA SALUD	CARIBE	400		10
	402 I	PARÍS	CARIBE	550		
	306 / 307	CIRCULAR NOROCCIDENTE	CARIBE	650	19	15 / 15
	195 I	SIMÓN BOLÍVAR	SANTA LUCÍA	400		15
	203 I	BELENCITO - CORAZÓN	SAN JAVIER	350	17	10
	C 23 I	SAN CRISTÓBAL	SAN JAVIER	400		12
	133 I	SAN LUCAS	POBLADO	350		10
RUTAS EN PROYECTO	265 I	CASTILLITA	CARIBE		18	9
	022 I	SANTA CRUZ	TRICENT.		15	10
	041 I	ARANJUEZ	TRICENT.		15	9
	080 I	VILLA HERMOSA	HOSPITAL		19	12

➤ Por último, los tiempos de viaje desde los municipios de La Estrella, Caldas, San Antonio de Prado y San Cristóbal a la estación de metro más cercana se encontraron a partir de los datos suministrados por el Metro en su Informe Técnico sobre Rutas Integradas de Abril de 1999 sobre longitudes de recorrido de las correspondientes rutas integradas. Se adoptó como valor de velocidad media de operación para estos viajes, la cifra de 40 km/h.

(c) Viajes con origen o destino no localizados sobre ninguna de las áreas anteriores.

Se analizó, en este grupo, los viajes con dirección en la **comuna de Belén**. A pesar de que dicha comuna no posee rutas de buses que conformen el SIT., se puede considerar que las

† Tarifa integrada

rutas comerciales , mediante recorridos realizados por las calles 33 y 30, generan accesibilidad a las estaciones Exposiciones e Industriales, respectivamente. Es importante llamar la atención respecto al buen servicio, tanto por cantidad de buses como por la diversidad de rutas y la alta frecuencia de viajes, que ofrece esta modalidad de transporte al usuario de ella. Por tal razón, se adoptó como tiempo de espera para este grupo el valor de 3 minutos a diferencia del adoptado para el grupo que conforma el SIT de 6 minutos. Finalmente, no sobra recordar que estos valores son conservadores si se tiene en cuenta que ellos expresan el valor medio para los intervalos de paso de los buses : 6 y 12 minutos respectivamente.

Al no tener información completa y detallada respecto a distancias, tiempos y frecuencias de recorrido de todo el sistema de transporte público de la ciudad, por seguridad, cuando no se tenía información de ciertos barrios se consideró que de ellos no se captaban viajes para la nueva estación del Metro.

## **ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El análisis se realiza sobre el grupo de viajes caracterizados por ser CAUTIVOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO. El resultado final comprende dos grandes grupos de viajes:

- (a) Viajes captados por el metro al día de hoy
- (b) Viajes por captar por el Metro con el proyecto de estación.

Los viajes que involucren el Metro como modo de transporte ya sea individualmente o en combinación con cualquier otro modo de transporte se cataloga como VIAJE CAPTADO POR EL METRO ACTUALMENTE. Una vez obtenido el grupo de viajes a evaluar, bajo los criterios citados anteriormente, se procede al análisis de la demanda propiamente dicho.

### **Criterios para determinar la captación de la futura estación en un día laboral**

#### **Criterio Tiempo**

Se calcula la diferencia de tiempos existente entre los tiempos de viaje obtenidos de las encuestas y el tiempo de viaje establecido para los diferentes grupos de estudio con la nueva estación. Esta diferencia de tiempos se cuantifica en términos de dinero a partir de los valores económicos del tiempo establecidos en el apartado 2.

#### **Criterio Tarifa**

Se calcula la diferencia de tarifas existente entre la correspondiente a los modos de transporte obtenidos de las encuestas y las ofrecidas por el sistema Metro, con la nueva estación, para los diferentes viajes según su localización.

### **Criterio Transbordos**

Ante diferencias poco y medianamente significativas que se generen al filtrar los viajes bajo los dos criterios básicos expuestos anteriormente, el factor TRANSBORDOS se erige como un tercer filtro en el proceso de decisión respecto a viajes captados por el Metro.

### **Criterio Preferencia Declarada**

Igual que el anterior, éste se constituye en un cuarto filtro en el proceso de selección de viajes captados por el Metro. Cuando las diferencias de tiempo, tarifas o transbordos por las rutas alternativas, con respecto al Metro, sean muy pequeñas, se decidirá según la preferencia declarada en las encuestas.

### **Criterio Existencia de Bolsas o Paquetes (sólo para viajes de Plaza Minorista)**

Como se anotó anteriormente, si la persona entrevistada en la Plaza Minorista respondió que las bolsas o paquetes le dificultarían usar el Metro, **inmediatamente**, se excluye de la lista de viajes potenciales para la nueva estación del Metro.

### **Criterio Caminata**

Bastante usado en el análisis de las encuestas correspondientes a la Universidad Nacional como un filtro adicional en el proceso de selección de viajes captados para el Metro, cuando las diferencias generadas, después de evaluar la información a la luz de los criterios anteriores, persistían en ser poco significativas. En particular, las encuestas de la Universidad Nacional daban información respecto a tiempos y recorridos de caminata. Asimismo, en ella el encuestado respondía a interrogantes sobre sitios de paraderos de buses y porterías utilizadas que, también, son elementos dicientes respecto a caminatas ejecutadas por el encuestado.

### **Algunos casos típicos**

Viajes localizados en el grupo del área de influencia directa del Metro

- (a) Viajes que implican dos o más etapas de transporte público (bus – bus, bus – colectivo, bus – taxi, colectivo – colectivo, etc.) con un consumo de tiempo mayor o igual al ofrecido por el Metro con la nueva estación, catalogan como VIAJE CAPTADO PARA LA NUEVA ESTACIÓN DEL METRO
- (b) Viajes que implican una etapa de transporte público. Observar que el caso más desfavorable se plantea cuando tal única etapa corresponde al bus, cuya diferencia de tarifas con respecto al Metro es mínima. Si el tiempo total de viaje es mayor que la solución ofrecida por el Metro con la nueva estación sobre la Línea C catalogan como VIAJE CAPTADO PARA EL METRO. En caso de tener tiempos menores en el sistema bus con respecto al Metro, pero con una baja diferencia (del orden de 7 a 8 minutos máximo es decir con diferencias de hasta \$ 195 pesos para un valor del minuto de \$26), también se selecciona el viaje como VIAJE CAPTADO PARA EL METRO teniendo en cuenta elementos como comodidad, fiabilidad y seguridad ofrecidos por el sistema Metro. Adicionalmente, se destaca que la respuesta del encuestado respecto al tiempo del viaje se expresa como una sensación del tiempo que en la medida que es

afectada por estados de ánimo del momento puede alejarse de la realidad. Tal rango de incertidumbre establecido (7 a 8 minutos) puede expresar, además, cierto margen de error en la respuesta del encuestado.

- (c) Viajes localizados en el grupo del área de influencia del SIT. Viajes que requieren transbordo entre dos modos de transporte público y que signifiquen un tiempo mayor que el ofrecido por el Metro hasta la nueva estación en conjunto con el SIT, es decir con una etapa en bus a la estación de Metro más cercana, se catalogan como VIAJES CAPTADOS PARA EL METRO. Es importante destacar aquí, que el caso de transbordo más desfavorable se plantea para la situación Bus - Bus vs. Ruta Integrada - Metro donde la diferencia de tarifas entre ambos es baja : \$1100 vs \$950.

### Expansión de la muestra

Los resultados obtenidos en las diferentes muestras constituidas por las encuestas, se expanden a la población total aplicando como **factor de expansión** (Fe) el valor resultante de dividir la población total de cada núcleo poblacional estudiado entre el número de personas constituido por la muestra. Dicho factor se aplica a los resultados de VIAJES CAPTADOS PARA EL METRO generados en los sectores encuestados para las diferentes combinaciones de modos de transporte resultantes.

Las encuestas realizadas en la Universidad Nacional corresponden tanto a Agronomía o Núcleo del Volador y Núcleo del Río como a la facultad de Minas ó Núcleo de Robledo. La población que se puede caracterizar como parte del área de influencia de la nueva estación no incluye el núcleo de Robledo y, en consecuencia, la Tabla 3 muestra los datos correspondientes al primero, así:

**TABLA 3.** Población de la Universidad Nacional

LUGAR	Fe	N° DE VIAJES			VIAJES CAUTIVOS			VIAJES NO CAUTIVOS		
		Muestra	Total	%	Muestra	Total	%	Muestra	Total	%
AGRONOM		702	15.959	100	488	11.094	70	214	4.865	30
FAC. MINAS		186	4.228	100	74	1.682	40	112	2.546	60
U. NACIONAL	22.7	888	20.187	100	562	12.776	63	326	7.411	37

La Tabla 4 muestra los factores de expansión de las muestras para los diferentes núcleos poblacionales estudiados, los cuales se calcularon dividiendo la población universo entre la población encuestada (ver datos de población en la Tabla 1), y la clasificación de los viajes según sean cautivos o no del transporte público.

Se destaca, aquí, que la población de los núcleos poblacionales estudiados, correspondiente a 43.867 personas realizan un total de viajes en el día de 87.830 (en promedio 2 viajes / persona / día), de los cuales un 87 % son viajes cautivos del transporte público.

**TABLA 4.** Factores de expansión de la muestra y tipos de viajes: cautivos y no cautivos del transporte público

ÁREA DE INFLUENCIA	Fe	N° DE VIAJES			VIAJES CAUTIVOS			VIAJES NO CAUTIVOS		
		Muestra	Pobla	%	Muestra	Pobla	%	Muestr	Pobla	%
UNAL -AGRO	22.7	702	15.959	100	488	11.094	70	214	4865	30
CARLOS E.	8.4	606	5.089	100	490	4.115	81	116	974	19
P. MINORISTA	39.9	1.227	48.921	100	1.117	44.535	91	110	4386	9
SENA	38.3	466	17.861	100	438	16.788	94	28	1073	6
<b>TOTAL</b>	<b>29.3</b>	<b>3.001</b>	<b>87.830</b>	<b>100</b>	<b>2.533</b>	<b>76.532</b>	<b>87</b>	<b>468</b>	<b>11298</b>	<b>13</b>

## RESULTADOS

### Área de influencia sin la Biblioteca Pública Piloto

La Tabla 5 muestra un resumen de los viajes captados por la nueva estación desde los diferentes sectores encuestados. En esta Tabla se observa que el núcleo poblacional que más viajes aportaría al Metro es la Plaza Minorista, la cual a pesar de ser una entidad que genera viajes de mercado y, por tanto, con algún impedimento de utilizar el Metro, se caracteriza por ser el sector de mayor población dentro del área de influencia de la nueva estación. Es precisamente, dicha condición de alto volumen de población, la que la sitúa como primer ente generador de viajes para la estación en proyecto. Es importante destacar, aquí, la cantidad de viajes con presencia de bolsas o paquetes existente en la Plaza Minorista : de 44.535 viajes cautivos del transporte público, un 29 %, es decir, 12.759 viajes, correspondieron a viajes de personas con bolsas o paquetes. Cabe recordar, adicionalmente, que tales viajes, en su totalidad, se analizaron como viajes de mercado y, en consecuencia, se desearon como viajes potenciales para la nueva estación. En el trabajo que sirvió de referencia a este artículo puede encontrarse el reparto modal correspondiente al grupo de viajes cautivos del transporte público y muchos otras bases de datos que se trabajaron para llegar a los principales resultados.

Es importante destacar que de los 13.213 viajes diarios captados por la nueva estación del área analizada sin la biblioteca Piloto, 3.419, es decir un 26 %, corresponde a viajes que ya utilizaban el Metro. Es decir, 9.794 viajes (74 %) corresponde a la NUEVA CAPTACIÓN.

**TABLA 5.** Resumen de viajes captados por la nueva estación.

ÁREA DE INFLUENCIA	NÚMERO DE VIAJES		VIAJES CAUTIVOS DEL TTE. PÚBLICO		VIAJES CAPTADOS POR LA NUEVA ESTACIÓN		% CAPTACIÓN DE VIAJES POR LA NUEVA ESTACIÓN	
	Cantid.	%	Cantid.	%	Cantidad	%	Total	Cautivos
P. MINORISTA	48.921	56	44.535	58	5.747	43	12 %	13 %
SENA	17.861	20	16.788	22	2.511	19	14 %	15 %
U. NACIONAL	15.959	18	11.094	15	2.592	20	16 %	23 %
CARLOS E.	5.089	6	4.115	5	2.363	18	46 %	57 %
<b>TOTAL</b>	<b>87.830</b>	<b>100</b>	<b>76.532</b>	<b>100</b>	<b>13.213</b>	<b>100</b>	<b>15 %</b>	<b>17 %</b>

### **Análisis de la Biblioteca Pública Piloto**

La Biblioteca Pública Piloto reportó una población flotante de 5.000 usuarios diarios y un personal de planta de 60 empleados, lo cual genera una población total de 5.060 personas diarias. A partir de un sondeo elaborado por la Biblioteca, durante dos semanas, se tuvo información respecto al barrio de origen de los usuarios visitantes. El sondeo se realizó durante 14 días sobre una muestra de 13.693 personas, es decir se logró una cobertura sobre el 19.33 % de la población usuaria.

Como los resultados de la Biblioteca no dan información respecto a tiempos de viaje y modos de transporte utilizados que posibiliten un análisis más exacto para establecer la cantidad de viajes captados por la nueva estación, se realizó un análisis muy general que, a partir de la información suministrada, sólo tuvo en cuenta los viajes desarrollados por usuarios con lugar de origen dentro del área de influencia directa del Metro. Asimismo se supuso que todo las personas entrevistadas realizan dos viajes, uno desde y otro hacia el lugar de origen manifestado.

Con una tasa de movilidad mínima de 2 viajes/persona/día, se tiene una cifra diaria de 10.120 viajes. Considerando una repartición promedio entre viajes cautivos del transporte público y viajes que corresponden al transporte privado de 87 % y 13 % respectivamente (promedio del resto del área de influencia), se tiene una población diaria de viajes cautivos del transporte público de 8.804 viajes.

El sondeo arroja, para los 14 días, un valor de 2.275 personas localizadas sobre el área de influencia directa del metro. Teniendo en cuenta el porcentaje promedio de viajes cautivos del transporte público correspondiente al 87 %, así como un factor de expansión de 5.17 (inverso del 19,3%) y una tasa de movilidad de 2 viajes / persona / día, se tienen **1.463 viajes** captados por la nueva estación. Este resultado corresponde a un porcentaje de captación de 14 % respecto a la cantidad total de viajes atraídos por la biblioteca (10.120 viajes / día) y del 17 % respecto al grupo de viajes cautivos del transporte público (8.804

viajes / día). El resultado obtenido, bajo las limitaciones mencionadas, se ubica dentro del rango de comportamiento medio del resto de las poblaciones estudiadas (15 % del total y 17 % del transporte público) siendo muy cercano su comportamiento al evaluado para el Sena. Siendo consecuentes con la metodología propuesta, que propone un análisis que se ponga del lado de la seguridad, no se tuvo en cuenta los viajes al resto de las zonas de la ciudad.

De otra parte, teniendo en cuenta que un 74 % de estos viajes corresponde a la **nueva** captación (nuevos usuarios del Metro), se puede afirmar que la Biblioteca Pública Piloto aportaría 1.083 viajes a la demanda de nuevos usuarios del Metro.

Por último, teniendo en cuenta el análisis aproximado que se realizó para la Biblioteca Pública Piloto, se tiene una cifra total de viajes captados por la nueva estación de 14.676 viajes diarios, de los cuales 10.876 viajes corresponde a la demanda nueva del Metro que no existía anteriormente.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que el volumen medio de viajes diarios reportado por las estaciones existentes es de 10.000 a 20.000, se concluye que la demanda resultante que tendría la estación intermedia planteada, justifica su ejecución y la puesta en marcha de la Línea 3 con horarios y frecuencias que den continuidad a su operación durante el transcurso del día.

De otra parte, la existencia de la nueva estación reforzaría la cantidad de viajes desarrollados en la respectiva área de influencia, captados actualmente por el Metro. Algunos de ellos que podrían presentarse casualmente, pueden cobrar la característica de permanencia ante la existencia de una estación intermedia.

Asimismo, es válido anotar que los resultados obtenidos obedecen a un análisis conservador. Ello junto con el hecho de la existencia de algunos márgenes expresados en la demanda no evaluada de la Universidad San Buenaventura y demás sectores aledaños con menor influencia de la estación, así como la no evaluación a favor de la estación de viajes que realizaban transbordos entre buses o entre colectivos en las encuestas de Carlos E. Restrepo y en parte de las del SENA (80 encuestas), y la no evaluación de los viajes fuera de la influencia directa del Metro en los usuarios de la Biblioteca Pública Piloto, conduce a esperar que la demanda final sea un poco mayor que la que arroja el presente análisis.

Por último, se recalca que el resultado de 14.670 viajes diarios captados por la nueva estación corresponde a un valor promedio para un día medio laboral. En consecuencia, si se desea obtener una cifra media diaria anual de viajes captados es necesario utilizar factores de corrección para hacer los ajustes necesarios. Cabe recordar que un día medio laboral para la Plaza Minorista se encuentra comprendido entre los días miércoles y lunes, incluyendo el fin de semana, mientras que para la U. Nacional y el Sena corresponde a un día hábil de la semana; en cuanto a la unidad residencial Carlos E. Restrepo es de esperar una reducción de su movilidad durante los fines de semana.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere que se ofrezcan condiciones de comodidad y seguridad sobre los corredores de acceso a los diferentes núcleos poblacionales que conforman el Área de Influencia de la nueva estación, en particular, para la Universidad Nacional, lo cual puede constituirse en un atractivo ante la constante queja de inseguridad por parte de los estudiantes que transitan por el corredor correspondiente a la portería de salida al Carlos E. Restrepo hacia el paradero en Suramericana o el almacén ÉXITO de la calle Colombia.

En el caso de la Universidad Nacional, se presenta un alto volumen de viajes que se realizan desde la facultad de Minas hacia el municipio de Bello y otros sectores que emplean la Ruta de bus de la U.N. con el objeto de hacer escala en la sede de Agronomía y desde allí tomar el bus o los buses que conduzcan al usuario a su destino final. Se propone, entonces, como forma de estimular el uso del Metro, plantear la estación de enlace sobre la Línea 3, como paradero obligado en los diferentes recorridos de las Rutas de la Universidad Nacional. Esto incrementaría, un poco más, el uso de la estación por parte del núcleo de Robledo. Sin embargo, este análisis no fue realizado para este estudio ya que habría que entrar a evaluar otros aspectos, como la conexión con la ruta de la U.N. y sus tiempos de espera puesto que, actualmente, el servicio que comunica el núcleo de Agronomía con la facultad de Minas se hace con dos buses cada dos horas. Con la nueva estación que se propone, es importante estudiar la factibilidad de una ruta integrada cuyo recorrido cubriera la extensa comuna de Robledo, hoy desintegrada a tan importante sistema de transporte. Ello incrementaría significativamente la demanda de viajes para el Metro.

Finalmente, será necesario una gran campaña de divulgación de la estación y sus ventajas para las diferentes localizaciones de la ciudad, e incluso motivar a que usuarios del transporte particular cambien de modo de transporte. Tal aspecto no se consideró por seguridad en el cálculo.

## BIBLIOGRAFÍA

SARMIENTO, I. (2000). Apuntes de Planificación de Transporte. Notas de clase.

SCHWAR, J. HUARTE, J. (1975). Métodos Estadísticos en Ingeniería de Transito. Asociación Mexicana de Caminos. México.