

ISSN: 2322-7672

III Encuentro de Investigación Formativa Ingeniería Industrial Medellín

Memorias

Grupo de Investigación en Sistemas
Aplicados en la Industria (GISAI)



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

© xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana

III Encuentro de Investigación Formativa - Memorias

ISSN: 2322-7672

Primera edición, 2013

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Vicerrector Académico: Pbro. Jorge Iván Ramírez Aguirre

Editor: Juan José García Posada

Coordinación de producción: Ana Milena Gómez C.

Diagramación: Geovany Snehider Serna Velásquez

Corrector de estilo: Monica Patricia Ospina Toro

Dirección editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2013

Email: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57) (4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1117-22-03-13

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Caracterización de la distribución de viajes en el Metro de Medellín

Johanna Tróchez González

Ingeniera Industrial Universidad Pontificia Bolivariana
Candidata a especialista en Estadística, Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín
jtrochezg@unal.edu.co

Resumen

El presente documento se basa en el estudio de transporte del Metro de Medellín, el cual tiene como objeto analizar la respuesta de los usuarios a la ampliación del servicio. Se crea una base de datos que recopila variables relevantes tales como estación de origen y destino, ocupación del usuario, frecuencia de viajes en el Metro, entre otras. Dicha base permite realizar una caracterización de los usuarios en las horas pico de la mañana y modelar el sistema de transporte, mediante diferentes matrices donde se clasifican los viajes, dependiendo de la distancia entre la estación origen y destino.

Palabras clave

Modelación, Metro, transporte.

Introducción

En transporte se deben considerar dos factores importantes para poder llevar a cabo una movilidad con éxito, estos son; el sistema vial que asegura la conectividad y el medio de transporte que hace uso de ella.

Es esencial estudiar el transporte urbano como un componente de la ciudad y una función de ella. Este debe garantizar que la accesibilidad de las personas a las distintas actividades se cumpla eficazmente a través de una adecuada movilidad (en términos de tiempo y de costo monetario), por lo que es necesario que exista la adecuada conectividad físico-espacial que la haga posible, neutralizando el efecto negativo de la distancia (González, 2007).

El Metro de Medellín hace parte del sistema de transporte del Valle de Aburrá, el cual se ha convertido en un medio que contribuye a la movilidad de todos los ciudadanos, por lo cual esta entidad constantemente evalúa su gestión a través de diferentes estudios sobre la demanda de los servicios del Metro, como el de origen y destino que se realiza conjuntamente con el de aforo de taxis y rutas cada año y otros no tan frecuentes como el de la ampliación del horario, donde se evalúa la opinión de los usuarios.

En el desarrollo del estudio de transporte se evaluó la factibilidad de la Ampliación del horario del Metro de Medellín, media hora antes de lo habitual, para tal efecto se entrevistó por interceptación a los usuarios, con un tamaño de muestra de 1500 usuarios, para preguntarles al respecto y se evaluó si esta medida es sostenible financieramente, ya que al adelantar el servicio se incurre en esfuerzos técnicos, de mantenimiento y de personal sustanciales y significativos dentro del sistema integrado de transporte (Elejalde, 2012).

Metodología

Se analiza la información recopilada, mediante diferentes matrices como la matriz de origen y destino de los viajes de los usuarios, tablas de análisis de frecuen-

cias y posteriormente una matriz de distancias entre las estaciones para detectar la distancia media recorrida por los usuarios.

Esta información permite realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los viajes realizados por los diferentes usuarios, además un análisis de clúster, que permite clasificar a los usuarios dependiendo de su actividad diaria y de la frecuencia de sus viajes.

El análisis de clúster es una técnica multivariada que se utiliza para identificar y clasificar individuos o variables con base en las similitudes de sus características, con el objetivo de formar grupos más concisos y entendibles con una pérdida de información mínima, es decir producir grupos con alta homogeneidad interna (cohesión interna) y alta heterogeneidad externa (aislamiento externo). (Correa, 2012).

La metodología de clúster sirve para diversos campos, en mercadeo se ha utilizado para el análisis de mercados, al realizar la segmentación de clientes y para comprender patrones de comportamiento en un grupo de personas.

En el área económica se realizan agrupamientos industriales denominados clúster, los cuales son “concentraciones geográficas que obtienen ventajas en su desempeño mediante la localización conjunta” (Doeringer y Terkla, 1995, p. 225).

En educación, con el objeto de construir tipologías de comportamiento, entre los estudiantes de primaria y secundaria, teniendo como base las semejanzas y diferencias en cuanto hábitos de estudio, aptitudes y autoconcepto, en la evolución de aprendizaje, así detectar y valorar casos en los que se demanda una atención especial para el desarrollo de actividades, (Torres, Palomio, 1996).

Análisis descriptivo de las variables

Se realizó una consulta por interceptación a los usuarios del Metro de Medellín; donde se preguntaban aspectos tales como:

Tabla 2. Variables categóricas y sus niveles.

Variables	Niveles
Género	Masculino
	Femenino
Ruta o vivienda	Sitio o barrio donde vive, incluye todos los barrios del Valle de Aburrá, aproximadamente 150 barrios y rutas de Medellín, para ser resumido se han agrupado en zonas
Línea origen	Línea A norte
	Línea A sur
	Línea B
	Línea J
	Línea K
Origen	Estación de origen
Destino	Estación de destino
Línea destino	Línea A norte
	Línea A sur
	Línea B
	Línea J
	Línea K
Hora aborda	4:00 - 4:15
	4:15 - 4:30
	4:30 - 4:45
	4:45 - 5:00
	5:00 - 5:15
	5:15 - 5:30
	5:30 - 5:45
Hora de regreso	Mañana - 12:00
	12:00 - 3:00
	3:00 - 6:00
	6:00 – sep
	9:00 – noche

Tabla 3. Variables categóricas y sus niveles.

Variables	Niveles
Motivo del viaje	Trabajo
	Estudio
	Servicios
	Otro
Veces en la semana que usa el Metro	Cinco
	Cuatro
	Tres
	Dos o menos
Veces en el día que usa el Metro	Cuatro o más
	Tres
	Dos
	Una

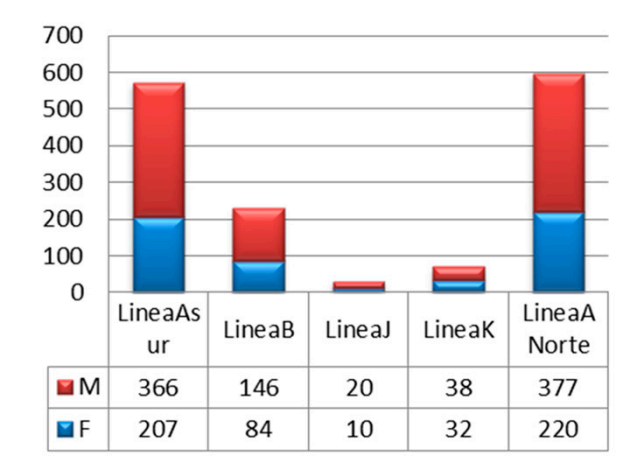
Análisis de resultados

En todo el sistema Metro se realizaron 1500 encuestas, el 37% de estas fueron realizadas al género femenino y un 63% al género masculino, el 78% de las encuestas fueron realizadas en la línea A, un 15% en la línea B, un 2% en la línea J y un 5% en la línea K.

Tabla 4. Encuestas realizadas en las líneas del Metro según el género.

Línea	Femenino	Masculino	Total	(%)
A sur	207	366	573	38%
B	84	146	230	15%
J	10	20	30	2%
K	32	38	70	5%
A Norte	220	377	597	40%
Total	553	947	1500	100%
(%)	37%	63%	100%	

Figura 6. Encuestas realizadas en las líneas del Metro según el género.



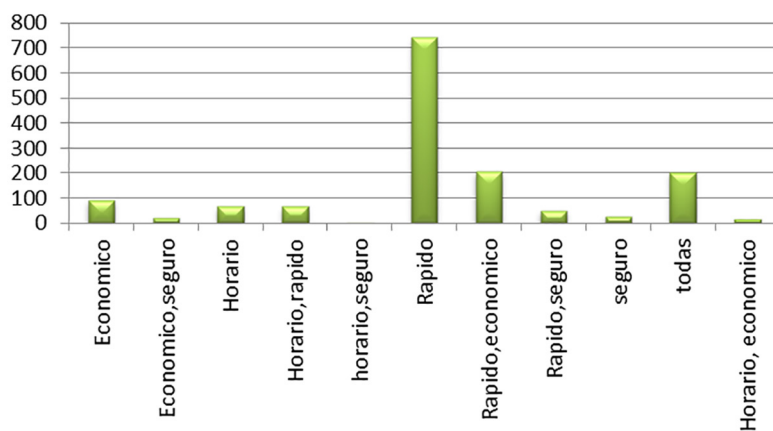
Motivos por los que las personas prefieren el Metro para viajar

Dentro de las razones más incidencia por la que los usuarios del Metro lo prefieren es porque es un medio de transporte rápido y eficiente.

Tabla 5. Motivos por los que las personas prefieren el Metro para viajar.

Línea/ Motivo	B	J	K	A
Económico	9	4	29	51
Económico, seguro	5	1		15
Horario	19	2		47
Horario, rápido	13	1		52
Horario, seguro	1			4
Rápido	69	15	34	623
Rápido, económico	32	3		171
Rápido, seguro	12	2		37
Seguro	7	2	7	12
Todas	56			148
Horario, económico	7			10
Total	230	30	70	1170

Figura 7. Motivos por los que las personas prefieren el Metro para viajar.



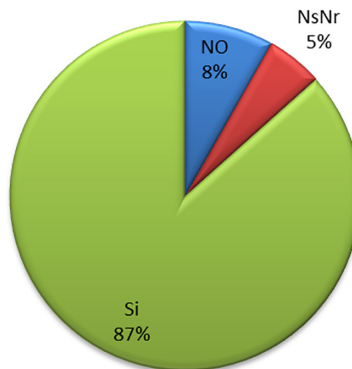
Ampliación del horario del Metro

La mayoría de las personas afirmaron que sí se debe ampliar el horario del Metro, media hora antes de lo habitual, siempre y cuando hayan otros medios de transporte que lleven a los usuarios a las estaciones.

Tabla 6. Ampliación del horario.

Ampliar	Total
NO	123
NsNr	78
Si	1299
Total	1500

Figura 8. Ampliación del horario del Metro.



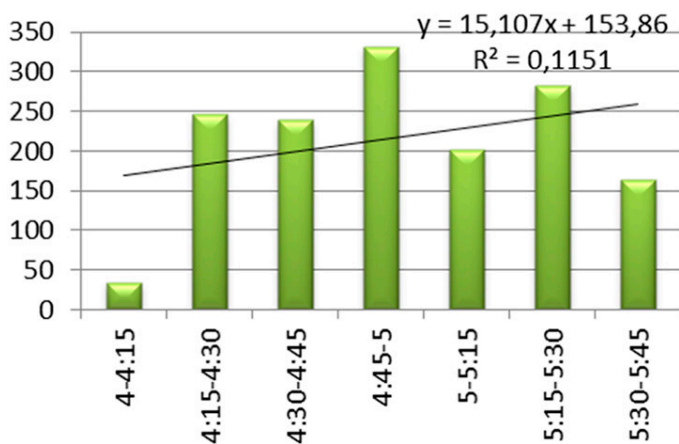
Hora y línea origen de las personas que abordan el Metro en la madrugada

Tabla 7. Hora y origen de las personas que abordan el Metro en la madrugada

Hora aborda	Líneas				
	A norte	A sur	B	J	K
4:00 - 4:15	13	17	4		1
4:15 - 4:30	93	72	66	1	15
4:30 - 4:45	142	59	31		7
4:45 - 5:00	195	74	29		34
5:00 - 5:15	109	43	24		26
5:15 - 5:30	98	72	44	1	68
5:30 - 5:45	39	82	33	2	6
Total	689	419	231	4	157

En la Figura 9 se observa una tendencia creciente en cuanto a la afluencia de usuarios al sistema metro en horas de la mañana.

Figura 9. Histograma de usuarios del Metro en horas de la mañana.



El error observado en cuanto a la estimación lineal de la tendencia, se debe a que el modelo fue realizado para unos cuantos usuarios del Metro en esta hora de la mañana, en general el comportamiento de afluencia de usuarios en la ciudad de Medellín sigue este patrón.

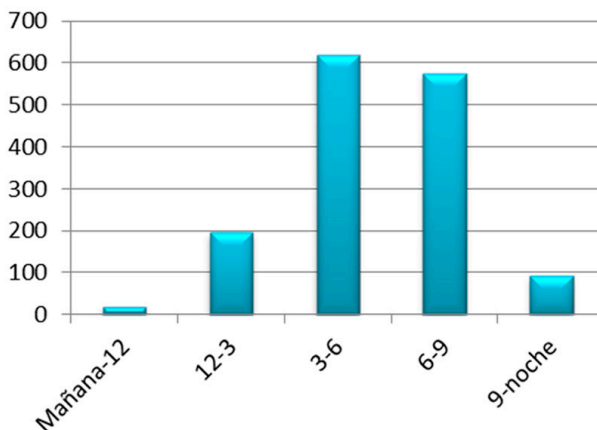
Hora de regreso y destino de las persona encuestadas en el Metro

Tabla 8. Hora de regreso de las personas encuestadas.

Regreso casa	Total
Mañana - 12:00	19
12:00 - 3:00	196
3:00 - 6:00	618
6:00 - 9:00	575
9:00 – noche	92
Total	1500

En la Figura 10 se observa el comportamiento del transporte en horas de la tarde.

Figura 10. Hora de regreso de las personas encuestadas.



El regreso de las personas se da más que todo en las horas de 3:00 a 6:00 de la tarde donde alcanza su máximo tope, la tendencia es creciente desde las 12:00 del día hasta las 6:00 de la tarde, después de esta hora la demanda empieza a disminuir suavemente.

Este comportamiento del gráfico sigue una tendencia polinómica, de grado 2, un punto de referencia para realizar una modelación del comportamiento de los usuarios en las horas pico de la noche.

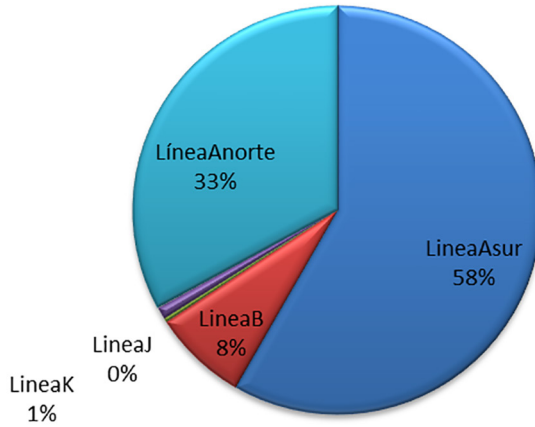
Destino de las personas encuestadas

El Metro cuenta con una extensión de 23.2 kilómetros en la línea A y 5.6 kilómetros de longitud en la línea B, además de las extensiones de los cable Metro, por lo cual está distribuido a lo largo del Área Metropolitana, lo que ayuda a la movilidad de las personas que se encuentran en el área de influencia del sector, que viaja a una velocidad promedio de 40 Km/h y a una velocidad máxima de 80 km/h (Díaz, 2004).

Tabla 9. Línea destino de las personas encuestadas.

Línea destino	Total
Línea A sur	875
Línea B	112
Línea J	5
Línea K	14
Línea A norte	494
Total	1500

Figura 11. Línea destino de las personas encuestadas.



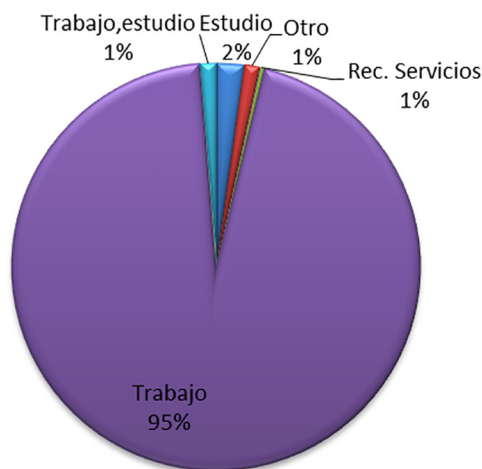
Se encuentra que la mayoría de las personas utilizan el Metro en la línea A para desplazarse hacia la línea A sur un 58%, el 33% hacia la línea A norte, solo una pequeña minoría hacia las otras líneas.

Motivo del viaje de las personas encuestadas

Tabla 10. Motivo del viaje de las personas encuestadas.

Motivo viaje	Total
Estudio	33
Otro	19
Rec. Servicios	5
Trabajo	1424
Trabajo, estudio	19
Total	1500

Figura 12. Motivo del viaje de las personas encuestadas.



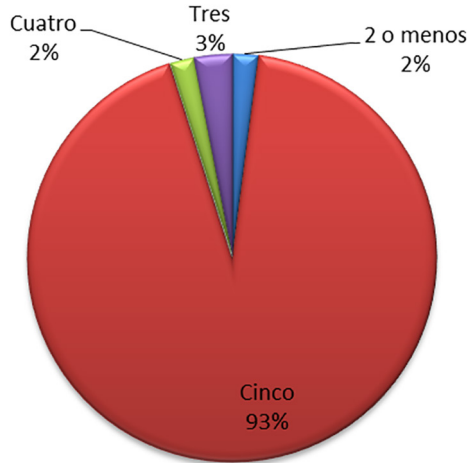
La mayoría de las personas usan el Metro por motivo de trabajo, un 95%; solo el 5% restante por motivos de trabajo, estudio y servicios; lo que lleva a concluir que el Metro desplaza más que todo la fuerza trabajadora del Área Metropolitana, en especial a esta hora de la mañana ya que muchas empresas empiezan turnos de trabajo a las 6:00 a.m.

Días en la semana que las personas usan el Metro

Tabla 11. Días a la semana que las personas encuestadas usan el Metro.

Días Metro	Total
Dos o menos	31
Cinco	1395
Cuatro	29
Tres	45
Total	1500

Figura 13. Días a la semana que las personas usan el Metro.



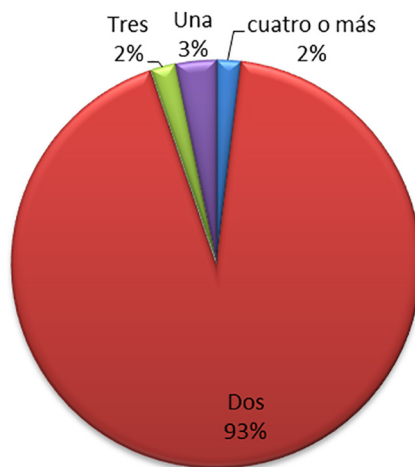
La mayoría de las personas un 93% usan el Metro todos los días de la semana incluso los sábados, lo que indica que la fuerza trabajadora de la ciudad descansa los domingos.

Veces al día que las personas encuestadas usan el Metro

Tabla 12. Veces al día que las personas encuestadas usan el Metro.

Veces Metro	Total
Cuatro o más	29
Dos	1393
Tres	30
Una	48
Total	1500

Figura 14. Veces al día que las personas encuestadas usan el Metro.



Un 93% de las personas encuestadas usan el Metro 2 veces diarias, el porcentaje restante no lo usa debido a que en las horas de madrugada el Metro no presta el servicio y en las horas pico el Metro es muy lleno, prefiriendo usar el servicio de bus.

Caracterización de los usuarios del Metro de Medellín

Según las variables descritas anteriormente de las tendencias de los usuarios del Metro, se realiza un análisis de clúster o segmentación del tipo de personas que abordan el Metro en las 2 primeras horas del día, la base de datos es:

Tabla 13. Variables para el análisis de Clúster.

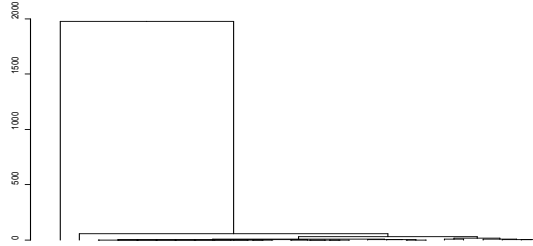
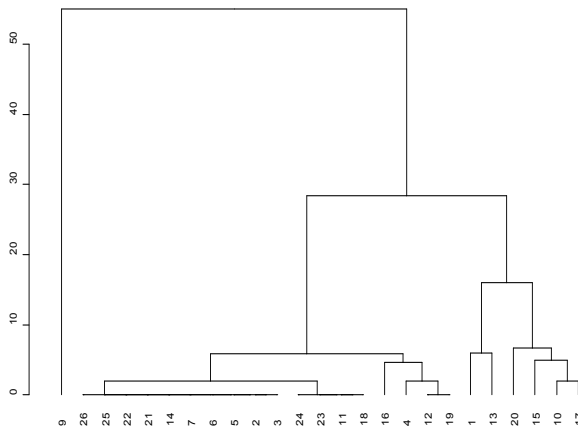


Figura 15. Análisis de clúster con todos los usuarios.

El análisis de clúster inicial es el que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se evidencia un *outlier*, (punto que presenta un comportamiento diferente al resto de observaciones), debido a que la mayoría de usuarios utilizan este medio de transporte, a esta hora, para desplazarse hacia sus lugares de trabajo, dos veces diarias y todos los días de la semana, al eliminar este punto atípico se genera un nuevo clúster, (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), dicho *outlier* se tiene en cuenta para caracterizar los usuarios del Metro en esta hora del día.

Figura 16. Segmentación de usuarios de Metro a primera hora del día.



Al analizar las figuras se crearon cuatro grupos que caracterizan los usuarios del Metro en las horas de 4:30 a las 6:00 a.m.

Tabla 14. Segmentación de los usuarios del Metro.

Nombre	Características	Usuarios	%
Trabajadores	Personas que usan el Metro para ir a sus lugares de trabajo, lo usan todos los días dos veces diarias.	1015	86%
Combinados	Usan el Metro para desplazarse a recibir servicios, trabajar o estudiar, lo hacen irregularmente en la semana.	35	3%
Estudiosos	Personas que usan el Metro para ir a estudiar, lo usan todos los días dos veces diarias.	33	3%
Trabajadores irregulares	Personas que usan el Metro para ir a sus lugares de trabajo, lo usan irregularmente en la semana.	97	8%
Total		1180	100%

En general, se observa que los usuarios más representativos del sistema Metro en este horario son la fuerza trabajadora de la ciudad, se espera que las empresas sean

proveedoras de medios de transporte desde sus empresas a las estaciones cercanas o bien que sea el Metro que abastezca estos grupos de mercado con rutas integradas.

Matriz de origen y destino de los usuarios del metro de Medellín

La matriz de origen y destino OD permite tomar información de la movilidad urbana en el área de influencia del Metro de Medellín, que es el Área Metropolitana, permitiendo observar una distribución de viajes, que explica hacia qué zonas se dirigen los viajes producidos en cada zona.

En esta matriz de origen y destino hay que tener en cuenta que las estaciones de origen fue un factor controlado dentro de la matriz, ya que se determinó con anterioridad qué cantidad de encuestas se realizarían en cada estación, sobre el factor que no se tiene control es la estación de destino, por lo cual el análisis es más representativo sobre las estaciones destino del sistema Metro.

Tabla 15. Estaciones destino donde hay más afluencia de usuarios.

Niquía	2,81%
Exposiciones	6,15%
Industriales	11,44%
Poblado	9,63%
Aguacatala	5,89%
Ayurá	5,28%
Envigado	7,22%
Itagüí	14,85%
Ruta	8,09%

A partir de la matriz de origen y destino se calculó la matriz de probabilidad condicional dado que un usuario se sube en una determinada estación, cuál es la probabilidad de que se quede en las siguientes, las probabilidades más elevadas y repetitivas son en las estaciones Niquía, Industriales, Poblado, Aguacatala e Itagüí, ver Tabla 16, donde se encuentran resumidas las probabilidades condicionales según la línea.

La probabilidad condicional es definida mediante la forma, dado que un usuario se sube en la línea B, la probabilidad de que se quede en Itagüí es del 21% y la probabilidad de que se quede en Poblado es del 10%.

Tabla 16. Probabilidad condicional según la línea y las estaciones de más afluencia de usuarios.

OD	Línea					
	A norte	A sur	B	K	J	Ruta
Niquía		4%	4%	14%	3%	
Bello	3%	7%	4%	3%		3%
Caribe	4%	7%	3%	4%		
Exposiciones	4%	3%	3%			56%
Industriales	11%	9%	7%	12%	18%	36%
Poblado	14%	5%	10%	14%	9%	
Aguacatala	9%	2%	8%	8%		
Ayurá	9%	1%	6%	9%	3%	
Envigado	11%	1%	15%	5%	3%	
Itagüí	20%	6%	21%	16%	36%	3%
San Javier	2%	1%	1%		15%	
Ruta		26%	0,40%			1%

Según esta muestra de usuarios se podría iniciar servicio desde las 4:00 a.m. abriendo las estaciones de más afluencia de pasajeros y de más importancia para el servicio del Metro como Niquia, San Javier, San Antonio, Industriales, Poblado, Aguacatala e Itagüí.

El servicio puede iniciar abriendo una de las puertas de entrada de cada estación, más no de todas para optimizar el recurso humano, e ir abriendo el servicio poco a poco a medida que la demanda del servicio aumente, ya que abrir el servicio media hora antes de lo habitual significa incurrir en costos.

Esta medida implica que las rutas integradas hacia estas estaciones también empiecen a funcionar a esta hora para alimentar las estaciones que se encuentran en servicio.

Conclusiones

La mayoría de las personas afirmaron que si ampliaban el horario del Metro, media hora antes de lo habitual, lo usaban, por que iban hacia sus lugares de trabajo, todos los días de la semana, dos veces diarias, y las razones principales por las que las personas prefieren el Metro es porque es rápido y económico.

La tendencia de hora de regreso a las viviendas es creciente desde las 12:00 del día hasta la 6:00 de la tarde, donde alcanza su máximo tope, luego la demanda empieza a disminuir suavemente.

La hora de regreso a casa, la cual abarca desde las 12:00 del día hasta las 9:00 de la noche, presenta un comportamiento polinómico de grado 2, el cual presenta su pico en las horas de las 6:00 de la tarde, lo cual es coneccuente con los diversos patrones de demanda de transporte establecidos en otros estudios realizados en el Área Metropolitana y en el Metro de Medellín.

En la matriz de probabilidad condicional se observó que las estaciones de mayor afluencia de pasajeros son: Niquía, Industriales, Poblado, Aguacatala e Itagiú.

Recomendaciones

Se puede considerar abrir las estaciones de más afluencia en el primer tren de la mañana, las cuales corresponden a Itagiú, Industriales, Poblado y Niquía, así no tener que incurrir en los costos de poner en funcionamiento las 52 estaciones del Metro.

Se recomienda que esta medida sea implementada por más de tres meses para que todos los usuarios se enteren de este horario y la demanda crezca semana tras semana.

Buscar otra forma de realizar encuestas, diferente al método de interceptación, como por ejemplo reunir grupos de personas transeúntes que sean usuarios de los diferentes medios de transporte y realizarles una entrevista grupal, sobre las preferencias en los horarios del Metro. Realizar un formato de encuesta uniforme para todos los encuestados, que no dependa de si es usuario de rutas o de Metro.

Una propuesta de solución para mejorar la movilidad en hora pico, tanto en la mañana como en la tarde, es que algunos trenes empiecen a circular en estaciones de más afluencia de pasajeros para así evitar que tanta gente aborde los vagones en una sola estación, otra medida es circular los trenes con más frecuencia, más o menos cada tres minutos.

Referencias

1. Área Metropolitana, (2006). Encuesta origen destino de viajes 2005 del Valle de Aburrá, estudios de tránsito complementarios y validación.
2. Correa, Juan Carlos (2012). Métodos multivariados, notas de clase 4.
3. Declaración sobre la red actualización, (2009). Adif (administrador de estructuras ferroviarias).
4. Doeringer, P. B., & Terkla, D. G. (1995). Business strategy and cross-industry clusters. *Economic Development Quarterly*, 9(3), 225-237.
5. Elejalde, (2012). Jefe de operaciones del Metro de Medellín. Entrevista realizada el 23 de Julio de 2013.
6. González, Carlos & Sarmiento, Iván (2007). Modelación de la distribución de viajes en el Valle de Aburrá utilizando el modelo gravitatorio. Vol 76, No 158. Medellín. *Revista DYNA*, pp.199-208.
7. Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. Vol. 76, No. 6. *Watertown: Harvard Business Review*, pp. 77-90.
8. Torres, José & Palomino, Antonio (1996). “El análisis de clúster aplicado a la valoración de necesidades educativas especiales”, disponible en: http://sid.usal.es/idocs/f8/art11539/an%0c3%0a1lisis_cluster_aplicado_valoracion.pdf. Recuperado: Junio 15 de 2012