Mejoramiento de movilidad en estaciones del metro desde su análisis como sistema complejo.

Alejandro Valencia Arias
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, javalenca@unal.edu.co
Tomás García Cuesta
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, jtgarcia@unal.edu.co
Valentina Gutiérrez Betancur
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, vagube23@gmail.com

RESUMEN

Teniendo en cuenta los problemas que afronta la estación Envigado del sistema Metro de Medellín relacionados con accesibilidad, movilidad, integración y rapidez causados por ser una de las estaciones con mayor ingreso de usuarios, se busca plantear opciones que mitiguen los problemas de movilidad que presenta la estación Envigado. Como metodología se consultaron fuentes de información secundarias y se aplicó análisis de observación para identificar la interacción entre agentes, su participación en el sistema, barreras conceptuales y físicas. Como conclusión se tiene que la mejor forma de disminuir la congestión en la estación Envigado es la implementación de un sistema de información conciso, eficiente y dinámico; la importancia de este desarrollo es que contribuye a la integración y posicionamiento del Metro como eje articulador del sistema de transporte del Valle de Aburra.

Palabras claves: sistemas complejos, movilidad, sistema de transporte masivo, interacción entre agentes

ABSTRACT

Considering the problems that confronts the station Envigado Medellin's Metro system related to accessibility, mobility and integration caused by one of the stations with higher income users, looking to raise options to mitigate the problems of mobility Envigado station presents. The methodology was consulted secondary sources of information and analysis of observation to identify the interaction between players, their participation in the system, conceptual and physical bars. In conclusion, the best way to reduce congestion at the station Envigado is the implementation of an information system concise, efficient an dynamic, the importance of this development is contributing to the integration and positioning of the Medellin's Metro system as articulating axis Transport Aburrá Valley.

Keywords: complex systems, mobility, massive transportation system, agents interaction

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El Metro de Medellín es el Sistema de Transporte Masivo de gran capacidad del cual disponen la ciudad y buena parte de su Área Metropolitana (situada al interior del Valle de Aburrá). El Metro atraviesa el valle en primer lugar con un ramal central de norte a sur, desde el municipio de Bello (Estación Niquía), hasta el municipio de Itagüí (Estación Itagüí), este ramal central está servido por trenes y se denomina línea A, la cual constituye la línea básica o eje principal del sistema; también, el Metro tiene un ramal que atraviesa el municipio de Medellín desde el centro de la ciudad (Estación San Antonio), hacia el occidente de la misma (Estación San Javier), igualmente servido por trenes, y se denomina línea B; por otra parte, el sistema posee otros dos ramales, servidos por cables aéreos de operación continua (Ciudad Viva, 2009).

Entre los principales problemas del metro se encuentran: resolver las condiciones de accesibilidad y movilidad de los habitantes de la ciudad y garantizar la integración a los ciudadanos y rapidez al utilizar los diversos modos de transporte. Existen diversas problemáticas con respecto a esto, en este caso se abordara el problema relacionado con la movilidad y ubicación en la estación Envigado, dado que: es una de las 5 estaciones que más

ingreso de pasajeros registra, posee cuatro salidas, rutas integradas en dos de sus salidas y al momento de abordar los trenes a la plataforma no hay una separación de los usuarios que se dirigen hacia el norte o hacia el sur; todos estos factores llevan a que se presenten problemas de ubicación y de retraso en la salida e ingreso a la estación Envigado.

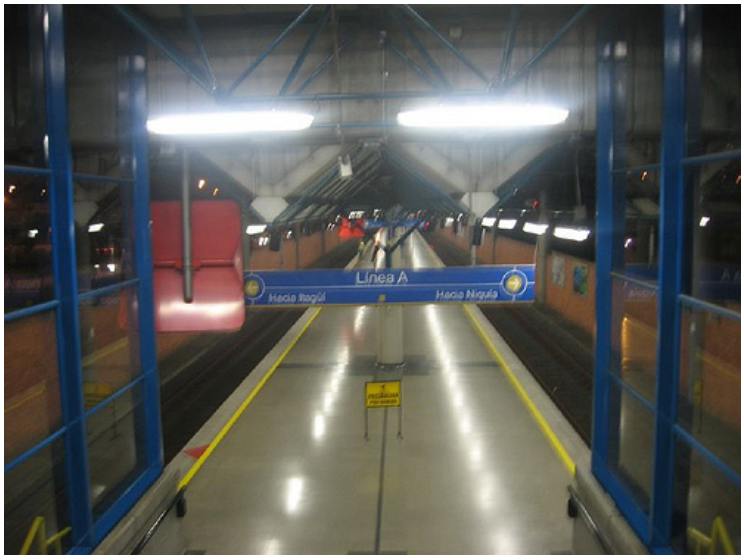

Figura No 1. Modelo de ingreso y salida presente en la estación Envigado.

2. ¿QUÉ ES UN SISTEMA COMPLEJO?

Con el presente apartado se pretende introducir la definición básica de un sistema complejo basado en la teoría, así como algunas de sus características más representativas:

"Un sistema es complejo cuando hay muchas interrelaciones entre sus componentes, de modo que cualquier cambio en alguno de los agentes o en las estrategias de los mismos puede afectar el comportamiento futuro del sistema" (Franco, 2009). Es importante anotar que un sistema complejo es aquel en el que se deben realizar un conjunto de funciones de carácter complicado para el cumplimiento de sus fines (Bravo, 2001)

Los sistemas complejos cumplen la ley de que a mayor cantidad de agentes en el sistema, aumenta la complejidad de éste, ya que se presenta mayor cantidad de interacciones. Además la interacción de las partes del sistema complejo crean nueva información espontánea y difícil de predecir, esto genera aprendizaje para los agentes del sistema, esta característica hace referencia a la propiedad emergente de los sistemas complejos, por tanto, toda alteración en un sector del sistema se puede propagar a través de la estructura de éste (Franco, 2009).

Por esta razón se ha encontrado en el estudio de los sistemas complejos que sus propiedades emergentes constituyen mayor dificultad para su análisis y posterior intervención, además agregan gran riqueza debido a la aparición de fenómenos nuevos por las interacciones de sus partes. Por tanto, estas interacciones no se deben analizar de forma fraccionada, esto debe hacerse considerando el sistema de forma holística para no perder trazabilidad de los fenómenos que se presentan en él. Es importante recordar que al momento de emprender una nueva investigación, el investigador no tiene claro a qué tipo de sistema se está enfrentando, por tanto quien analiza un nuevo sistema, debe identificar quienes son los agentes participantes, la naturaleza de las variables presentes (determinísticas , aleatorias o una combinación de ambas), debe realizar un análisis de la complejidad del sistema al que se enfrenta, estudiar la evolución del comportamiento de cada agente que participa en el sistema y comprender ampliamente las interacciones que se presente en él, con el fin de plantear nuevas estrategias que le permitan intervenir el sistema de forma correcta y solucionar los problemas que estén perjudicando a sus usuarios (García, 1994).

3. ¿POR QUÉ EL SISTEMA METRO EN LA ESTACIÓN ENVIGADO ES COMPLEJO?

Entre más actividades puedan hacer los componentes del metro es más complejo ya que en su gran mayoría cada uno de los componentes del sistema puede realizar más de una actividad, un ejemplo son los policías quienes además de ayudar a las personas con movilidad reducida también pueden velar por la protección de los usuarios en general.

A continuación se observa la descripción de los agentes que interactúan en este sistema específico de la Estación Envigado del sistema de transporte del Metro de Medellín (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los agentes que interactúan en el sistema

	Agente	Localización	Capacidad	Memoria	Estrategias
1	**Usuarios**	Escaleras, plataformas, vagones y vehículos integrados	Relacionarse con las normas y elegir utilizar o no el sistema metro	Anterior relación con el sistema	Lograr acceder al sistema
2	**Conductores Metro**	Cabinas y plataforma	Movilizar a los usuarios	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Conducir de forma correcta con el fin de movilizar a los usuarios
3	**Conductores integrados**	Vehículos integrados	Movilizar a los usuarios	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Conducir de forma correcta con el fin de movilizar a los usuarios
4	**Policías**	Todo el sistema	Controlar el orden público del sistema	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Estar atento a posibles anormalidades en el sistema que puedan afectar a los agentes de este
5	**Taquilleras**	Taquillas	Proporcionar fluidez al sistema, haciendo su trabajo con mayor habilidad	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Atender de forma rápida y eficiente la demanda de los usuarios
6	**Personal de aseo**	Todo el sistema	Mantener en óptimas condiciones de higiene el sistema	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Realizar su trabajo de limpieza de forma eficiente, teniendo en cuenta las características del sistema
7	**Operador de estación**	Todo el sistema	Dirigir y orientar las tareas que realiza cada trabajador de la estación	Las capacitaciones recibidas y experiencias adquiridas	Velar por el cumplimiento de las normas establecidas
8	**Personal de mantenimiento**	Todo el sistema	Mantener en óptimas condiciones de funcionamiento el sistema en general	Estudios realizados, capacitaciones y experiencia	Reparar cualquier artefacto del sistema que esté averiado

La complejidad puede ocurrir en sistemas conservadores o disipadores de energía, ya que el sistema Metro es un sistema que a lo largo del tiempo se desgasta, disipando energía, se hace necesario realizar un mantenimiento periódico. Por otro lado, este sistema es en parte determinístico y en parte aleatorio, se puede considerar

determinístico, ya que el metro a la estación de Envigado tiene preestablecidas las horas de salida y llegada durante todo el día y aleatorio, debido a que el número de usuarios que ingresan diariamente al sistema varia.

Las diferentes partes de este sistema están conectadas y un cambio en una de ellas afecta de manera sinérgica a las demás. Por ejemplo, las causas y los efectos que este sistema experimenta pueden o no ser proporcionales. Además, si se duplica el número de vagones del metro no siempre se duplicará el número de usuarios.

Artefactos: Metro, Arturito (lector de saldo), torniquete, computadores, teléfonos, caja registradora, micrófonos, cajero, buses, servicio a personas con movilidad reducida, tiquetes, tarjeta cívica (se recarga con dinero reemplazando los tiquetes tradicionales).

4. ANÁLISIS DE COMPLEJIDAD:

4.1 VARIACIÓN: Cuando se analiza un sistema es necesario ser conscientes de las variaciones que hay entre los agentes y hacer las agrupaciones que sean pertinentes. Las características que son importantes para diferenciar los agentes dependen de los objetivos que se están persiguiendo. Se debe alentar a la variación cuando se presentan problemas de largo plazo, como es el caso de la movilidad en las estaciones Metro. En la tabla 2 se muestra la memoria de los agentes con el fin de analizar este componente.

Tabla 2. Memoria de los agentes del modelo

Agente	Baja memoria	Alta memoria
Usuarios	Usuarios no Esporádicos	Usuarios Esporádicos
Conductores Metro	Novatos	Experimentados
Conductores integrados	0	0
Policías	Bachilleres	Profesionales
Taquilleras	Novatas	Experimentadas
Personal de aseo	0	0
Operador de estación	0	0

4.1.1 EXPLICACIÓN DE TIPOS Y CARACTERÍSTICAS:

Tipos de usuarios: Se dividió a los usuarios en dos, los esporádicos que para nuestro problema son los usuarios que tienen memoria acerca de cómo transitar a través de la estación Envigado del sistema Metro, y los no esporádicos que son los usuarios que frecuentan poco la estación, por tal motivo tienen poca memoria acerca de cómo transitar por la estación por tanto estos usuarios son quienes contribuyen en mayor medida a que se presente el problema seleccionado.

Conductores del Metro: Se dividió a los conductores del Metro en dos tipos, novatos quienes pueden tener equivocaciones en cuanto al manejo de los tiempos de salida y llegada, causando así distorsiones en el normal flujo de llegada. Por otro lado los experimentados quienes conocen muy bien el sistema por lo que se equivocan muy poco.

Policías: Se dividieron en bachilleres quienes normalmente se demoran mayor tiempo en ubicar al usuario y profesionales que por su conocimiento y memoria lo hacen mucho más rápido.

Taquilleras**:** Se dividieron en novatas quienes por su poca practica pueden retrasar la atención al usuario, y experimentadas, quienes por su conocimiento y memoria realizan su tarea mucho más ágil contribuyendo a una mayor fluidez en el sistema.

4.2 EXPLICACIÓN DE LA EVOLUCIÓN:

Para la evolución del sistema se espera que los agentes con poca memoria pasado el tiempo adquieran mayor experiencia y práctica hasta el punto de alcanzar el conocimiento de los agentes de alta memoria. Por otra parte se espera que los agentes con alta memoria del sistema pasen a ser tutores de los nuevos agentes que estén entrando al sistema.

Tabla 3. Interacción entre los agentes del sistema

INTERACCIONES	
1 – 2: En el momento en el que el usuario ingresa al vagón el conductor es quien lo moviliza.	**3 – 6:** No hay interacción directa
1 – 8: No interactúan	**3 – 7:** No hay interacción directa
1 – 4: En el momento en que el usuario solicita información al policía o en el momento en que el policía sospecha que algún usuario se encuentra realizado conductas delictivas.	**7 – 8:** El operador de estación informa acerca de los daños presentados en el sistema al jefe del personal de mantenimiento, éste último se encarga de gestionar la reparación del daño informado por el operador de estación mediante el envío del personal necesario
1 – 5: En el momento de recargar la tarjeta cívica o comprar el tiquete.	**3 – 5:** No hay interacción directa
1 – 6: En el momento en el que el personal de aseo emite la advertencia de que el piso se encuentra resbaloso por medio de una valla informativa.	**4 – 5:** En el momento en que la taquillera requiera alguna ayuda para resolver un problema de orden público.
1 – 7: En el momento en el que el usuario tenga una duda o queja acerca del funcionamiento de la estación	**4 – 6:** En el momento en que algún miembro del personal de aseo requiera ayuda para resolver un problema de orden público.
1 – 3: En el momento en el que el usuario ingresa al vehículo integrado el conductor es quien lo moviliza.	**4 – 7:** En el momento en que el Operador de estación requiera alguna ayuda para resolver un problema de orden público.
2 – 3: No interactúan	**4 – 8:** No interactúan
2 – 4: En el momento en que el conductor solicite alguna ayuda para resolver un problema de orden público.	**5 – 6:** En el momento en el que el personal de aseo ingresa a la taquilla a realizar su trabajo
3 – 4: En el momento en que el conductor solicite alguna ayuda para resolver un problema de orden público.	**5 – 7:** En el momento en el que el Operador de estación da órdenes a las taquilleras
2 – 6: No hay interacción directa	**5 – 8:** No interactúan
2 – 7: En el momento que el Operador de estación le da las órdenes del día	**6 – 7:** En el momento en el que el Operador de estación da órdenes al personal de aseo
2 – 8: No interactúan	**6 – 8:** No interactúan
2 – 5: No hay interacción directa	**3 – 8:** No interactúan

A continuación se puede observar de una manera más didáctica la interacción que se produce entre los diferentes agentes (Figura 2)

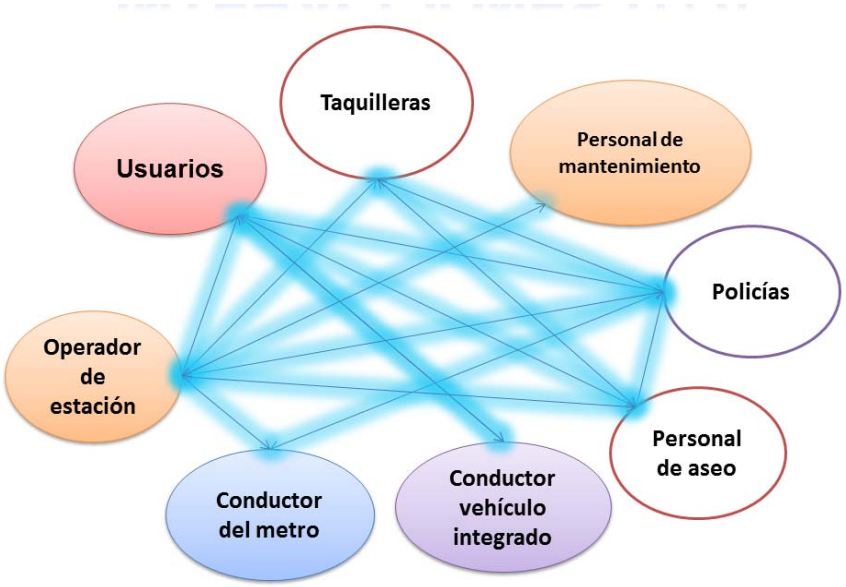

Figura No 2. Diagrama de relaciones e interacción entre los agentes del sistema.

4.3 BARRERAS FÍSICAS Y CONCEPTUALES DEL SISTEMA

4.3.1 BARRERAS FÍSICAS:

Torniquete: limita la entrada de los agentes al sistema

Muros: separan el sistema del exterior, entre estos se encuentran también, vidrios, puertas y demás artefactos que protejan al sistema del exterior

4.3.2 BARRERAS CONCEPTUALES:

Cargos: Las personas que trabajan en el metro pueden ingresar sin pagar, mientras que quienes no trabajan deben pagar.

Carrilera: Esta impide que los usuarios que se encuentran en la plataforma en la que se toma el metro para ir al norte no pueden pasar a la plataforma en la que se toma el metro para ir al sur. Físicamente esta barrera es permeable, sin embargo los agentes se abstienen de traspasarla por motivos conceptuales.

Línea amarilla: Es una línea física que se encuentra en el suelo de la plataforma, ésta anuncia a los agentes que están muy cerca de la carrilera del Metro.

4.4 SELECCIÓN

- Incentivar el uso de la tarjeta cívica (crear un punto cívica en la estación).
- Distribuir estratégicamente en la estación carteleras que brinden información al usuario acerca de las rutas integradas a la estación Envigado
- Ubicar estratégicamente asesores en la plataforma que guíen a los usuarios acerca del lugar en el que pueden tomar la ruta integrada requerida
- Situar en el medio de la plataforma un barrera física para separar las personas que vienen del norte, del sur y los usuarios que van a tomar el Metro, lo anterior con el fin de agilizar el tráfico de personas por la plataforma, mejorando así la eficiencia del sistema.

Este conjunto de soluciones es beneficioso tanto en los momentos de elevado flujo de usuarios en el sistema como en los que este se encuentra poco congestionado.

5. POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS

A medida que crece en población y en superficie urbanizada, el número de viajes aumenta requiriendo sistemas de transporte urbano que proporcionen la movilidad adecuada para la interacción de las nuevas comunidades que resultaron del proceso de expansión urbana (DNP, 2002). Es por esto que entre las políticas y estrategias que se consideran pertinentes para seguir implementando en la estación Envigado se pueden resaltar y sugerir las siguientes:

La campaña "Dejar salir es ingresar más fácil" la cual permite más orden en las plataformas y se agilizó el paso a los vagones.

Incentivar el uso de la tarjeta cívica ya que quienes la usan disfrutan de un beneficio de $150 de ahorro, respecto a la tarifa plena de $1.500 definida para los viajes eventuales y los tiquetes sencillos.

Además, gracias a los convenios del metro se pueden obtener descuentos de hasta el 53% con su uso.

El establecimiento de diferentes horarios de recorrido dependiendo de la hora y el día de la semana. Los momentos de mayor ocupación de los vehículos se denomina "hora pico" (5:00 a 8:00 a.m. y de 3:30 a 7:30 p.m.). Las demás horas del día en las que la afluencia es menor se denominan "hora valle" (8:00 a 3:30 a.m. y después de las 7:30 p.m.). Las unidades del Metro llegan a las estaciones durante las horas pico cada 4 minutos y medio con trenes de 6 coches. En las horas valle los trenes llegan a las estaciones cada 6 ó 7 minutos, dependiendo de la hora y el día, con trenes de 3 coches (Metro de Medellin, 2010)

Presencia de agentes educativos en estaciones quienes brinden información sobre el uso adecuado de las normas, la utilización de las adecuaciones de la estación y para el uso de la tarjeta cívica.

Construcción de rampas en las plazoletas de las estaciones, con el fin de facilitar el acceso a los equipos de accesibilidad para personas con movilidad reducida.

Aumento de la cobertura a través de nuevas conexiones y estaciones del servicio, en aquellas zonas en las que actualmente no esté presente.

Como política general del sistema metro se deben tener en cuenta algunos factores claves al momento de realizar alguna modificación, ampliación o implementación de medidas, entre estos factores están: las previsiones de demanda, la imagen, la aceptación y dialogo con el sector del transporte público, la innovación tecnológica, la participación del sector privado y el mecanismo de financiación (Marion y Roger, 2006). Estos factores aunque son muy generales ayudan a establecer prioridades y en casos como el de la estación Envigado puede llegar a identificar prioridades que económicamente no son costosas pero que pueden ayudar a mejor la movilidad y la eficiencia del servicio en la estación

6. CONCLUSIONES

La implementación de medidas que reducen la congestión y brindan mayor información a los usuarios permite contribuir a la integración y posicionamiento del Metro como eje articulador del sistema de transporte del Valle de Aburra.

Aún falta lograr una integración física y operativa en la estación Envigado que beneficie a los usuarios en términos de movilidad, seguridad y calidad del servicio

Se identificó que en la medida en que evolucionan los agentes del sistema éste se hace más eficiente.

Se identificó al considerar a la estación Envigado como un sistema que la interacción entre los agentes es muy alta por tanto este sistema es complejo.

Se encontró que la mayor necesidad para disminuir la congestión en la estación Envigado es la implementación de un sistema de información conciso, eficiente y dinámico.

Se observó que una característica común a los agentes que hacen ineficiente el sistema es la falta de memoria.

Se requiere una mejor planeación y en algunos casos una reorganización en cuanto a la información concerniente con las rutas alimentadoras mejorando el flujo de pasajeros en esta modalidad del sistema y logrando mayor agilidad en este.

REFERENCIAS

Bravo Monroy, R. (2001). La calidad en el diseño de sistemas complejos. Cuadernos de estudios empresariales, (Vol. 11), 51–85.

Ciudad Viva. (2009) La ciudad viva como URBS: Metro cable de Medellín. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3401/8/41176-8.pdf

DNP. (2002). Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros. Documento CONPES 3167. Disponible en: upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3401/8/41176-8.pdf

Franco, Carlos Jaime. (2009) Notas de clase sistemas complejos. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Disponible en: http://pisis.unalmed.edu.co/cursos/material/3004603/1/SISTEMAS%20COMPLEJOS%20-%20Clase%201.pdf

Marion Edwards y Roger L Mackett. (1996) Developing new urban public transport systems : An irrational decision-making process," Transport Policy 3, no. 4: 225-239, DOI: 10.1016/S0967-070X(96)00023-6

Metro de Medellin. (2010) Rutas SIT. Disponible en: http://www.metrodemedellin.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=96&id_link=189&parent_link=141&Itemid=189&lang=es

Garcia, R. (1994). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. Leff e, organizador. Ciencias sociales y formación ambiental. Barcelona: gedisa, unam, 32–48.

Valencia, Dario. (2008) El transporte en el Valle de Aburra. Disponible en: http://www.valenciad.com/Columnas/200910.pdf

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito