

# Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas

Developing a mass transportation system: an approach from systems dynamics

**Juan Sebastián Orozco**

*juanseorozcora@gmail.com*

**Fernando Antonio Arenas, M.Sc.**

*faarenas@icesi.edu.co*

*Universidad Icesi, Cali - Colombia*

Fecha de recepción: Enero 10 de 2013

Fecha de aceptación: Marzo 4 de 2013

## Palabras clave

Sistema de transporte masivo; dinámica de sistemas; bus de tránsito rápido; simulación.

## Keywords

Mass transit system; system dynamics; bus rapid transit; simulation.

Colciencias **1**  
tipo

*Este documento se ha construido a partir de la ponencia del mismo nombre, presentada por los autores en el 10º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, organizado en de 2012 por la Universidad Icesi y la Universidad del Valle, bajo la temática: Dinámica de sistemas: Un enfoque de gestión y solución de problemas. El documento es inédito.*

## Resumen

El porvenir social y económico de una ciudad depende, en gran medida, de la eficiencia de su sistema de transporte; esto se ve reflejado en la capacidad de transportar personas y bienes de una forma sostenible, con los recursos disponibles. En la actualidad se encuentran en desarrollo sistemas de transporte masivo tipo *Bus Rapid Transit* [BRT] en siete ciudades colombianas, situación que genera la necesidad de dar seguimiento a su progreso y al crecimiento de su participación en la demanda de viajes unipersonales. El siguiente trabajo busca, a través de una simulación en dinámica de sistemas, describir el desarrollo de un sistema de transporte masivo, con el fin de otorgar una visión acerca del impacto de los parámetros operativos y la reinversión en el sistema y en el desarrollo e incremento de su demanda. Se plantean tres escenarios para evaluar diferentes políticas operativas y de reinversión en el sistema, analizando el comportamiento en su desarrollo.

## Abstract

The social and economic future of a city depends primarily on the efficiency of its transport system; this is measured by the ability to move people and goods in a sustainable manner, with the available resources. Nowadays, Mass Transit systems are being developed in seven different cities of Colombia, which have created the need to track the progression and growth of their participation in the one-person travel demand. The purpose of this work is to describe the development of a mass transit system, and to provide an overview of the impact that the operating parameters and reinvestment have on the development and expansion of the demand of the system itself. Three scenarios are proposed to evaluate different operational and reinvestment policies, analyzing the behavior in the development of the system.

## I. Introducción

El sistema de transporte masivo tipo *Bus de Tránsito Rápido* [BRT] surgió como una opción al problema del transporte de las ciudades en desarrollo de América Latina. Económico en comparación al costo por kilómetro que tienen el metro subterráneo, el tren elevado y el tren ligero; con una velocidad promedio entre 20 y 30 km/h; y un tiempo de implementación corto, en comparación con los sistemas mencionados, hacen de él una opción atractiva para una ciudad. Lo cierto es que la sostenibilidad financiera de un sistema de este tipo no sólo depende de las cualidades anteriores, sino también de las políticas diseñadas e implementadas con el fin de incrementar su número de usuarios a través del tiempo. Al entrar a competir con los sistemas tradicionales de transporte, el nuevo sistema tiene que captar parte de la demanda que se moviliza en *Transporte Público Colectivo* [TPC] (i.e., taxi, vehículo particular o moto), para así justificar su plan de desarrollo.

Para captar demanda de otros medios de transporte en la ciudad, debe ser más atractivo en aspectos que el usuario considera relevantes al momento de la elección de su modo de viaje. El costo, el tiempo promedio de viaje y la calidad (refiriéndose al porcentaje de ocupación del vehículo de transporte) son aspectos que hacen atractivo o no a un sistema de transporte y le dan la posibilidad, a un sistema en desarrollo, de tomar las decisiones correctas en el momento correcto, para ser atractivo en el tiempo. En este trabajo se emplea un modelo de dinámica de sistemas con el fin de encontrar una relación entre los parámetros operacionales y de inversión que definen el nivel de atraktividad del sistema y el crecimiento de su demanda, y se formulan conclusiones acerca de las políticas que se pueden adoptar para el desarrollo exitoso del sistema.

## II. Sistema de transporte masivo

Los sistemas de transporte masivos tipo BRT tienen su origen en Suramérica, donde funcionan como una solución de bajo costo para la movilidad en las ciudades en crecimiento. Este tipo de sistemas basan su funcionamiento en carriles exclusivos para bus y estaciones elevadas de ascenso y descenso de pasajeros, que evitan la congestión generada por automóviles en los carriles de uso mixto, y disminuyen el tiempo de transición (ascenso y descenso) de pasajeros.

En cuanto al desarrollo de los sistemas de transporte masivo [STM], en Colombia existe la *Política nacional de transporte urbano y masivo*, *Conpes 3260* (DNP, 2003), que busca impulsar la implantación de este tipo de sistemas en las grandes ciudades del país (i.e., ciudades con más de 500,000 habitantes). Esta iniciativa del gobierno surge a partir de la gran concentración de población que se genera en estas urbes. Según el *Conpes 3260* (DNP, 2003), Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena y Pereira,

**Tabla 1.** Costo promedio / km de infraestructura (ITDP, 2007)

Ciudad	Tipo de Sistema	Costo por Km (US\$ millones/Km)
Curitiba	BRT	2,5
San Diego	Tranvía	17,2
Burdeos	Tren ligero	20,5
Kuala Lumpur	Tren elevado	50
Caraca	Metrorail	90.3

concentran el 50% de la población y generan el 70% PIB del país. Para esto, la ley 310 de 1996 dicta que las fuentes de financiación de la infraestructura urbana de un sistema de transporte masivo serán: entre 40% y 70% por parte de la nación o sus entidades descentralizadas y el saldo por parte del municipio donde será implementado. En el caso de Cali, ciudad donde se enfoca este trabajo, el Estado aportó el 70% del capital necesario y el 30% restante fue aportado por el municipio (sobretasa a los combustibles, presupuesto municipal). La planeación, gestión, operación y control del sistema, deben ser financiados con los ingresos recaudados por el *Masivo Integrado de Occidente* [MIO] (DNP, 2007), lo que hace necesaria una gestión eficaz en la implementación del sistema con miras a su sostenibilidad futura.

Para que un sistema tipo BRT sea sostenible, debe alcanzar un equilibrio entre los ingresos (demanda de viajes del sistema X tarifa del sistema) y los egresos (remuneración de agentes del sistema). El modelo financiero sobre el cual se soporta la implementación de los BRT en las ciudades de Colombia, consta de tres participantes en la prestación del servicio: los operadores troncales, a quienes se remunera con un porcentaje del ingreso del sistema, condicionado por el costo del kilómetro recorrido y el número de kilómetros recorrido por cada operador; los operadores de recaudo, que obtienen su remuneración como un porcentaje de cada pasaje vendido; y el ente gestor –Metrocali S.A. en este caso– quien tiene un porcentaje de participación en los ingresos del sistema.

En este trabajo se agrupan los agentes participantes en el sistema de transporte, asumiendo que toda la operación del sistema depende sólo del ente gestor, es decir, que él estará encargado de la operación troncal (carriles sólo bus), la alimentadora (carriles mixtos), y el recaudo y control del sistema; los ingresos del sistemas serán el resultado de multiplicar el número de viajes promedio realizado por usuario por el número de usuarios y el costo del pasaje, y sus egresos, por los costos operativos de ofrecer el servicio.

### **A) Sistemas de transporte masivo y dinámica de sistemas**

La dinámica de sistemas ha sido utilizada para el estudio de la dinámica del crecimiento urbano. Swanson (2003), por ejemplo, modela la interacción entre el crecimiento de la

población, el uso de la tierra, la economía y el transporte público en el desarrollo de una ciudad, y finalmente enseña como el modelo de Forrester de dinámica urbana ha sido modificado para contribuir en la resolución de diferentes problemas.

En la conferencia para el transporte europeo, se planteó un modelo que busca simular el efecto a mediano y largo plazo de las políticas aplicadas en una ciudad, en busca de la sostenibilidad del transporte urbano. En este trabajo se encuentran dos enfoques, el primero se refiere al financiamiento del transporte público y a la restricción en el uso de recursos; el segundo, es un modelo de distribución modal basada en el tiempo y precio del transporte. Finalmente en el trabajo se logra cuantificar la interacción entre el suministro de transporte público y la demanda, a través del impacto de parámetros como: el precio, la frecuencia del servicio y el financiamiento público (Raux, 2003). En otro estudio realizado en Teherán, Vakili (2008) encontró la relación entre las estrategias de la Administración de la Demanda del Transporte [TDM] y la influencia generada sobre los propietarios de vehículos particulares hacia el uso del sistema de transporte público. El modelo en dinámica de sistemas desarrollado en este estudio, se compone de los factores que afectan a vehículos privados y al transporte público; por lo tanto, es sensible a la variedad de estrategias del TDM y sus políticas. Las aproximaciones que este tipo de gestión se han hecho en Teherán para animar a más gente a usar el transporte público, han sido relativamente eficaces en el corto plazo, pero en el largo plazo, como lo revelan los resultados han sido ineficaces. Los autores del estudio concluyen que esa tendencia se puede justificar debido a la impotencia del sistema gubernamental de transporte público, la falta de calidad administrativa y el limitado papel de las asociaciones privadas en el campo del transporte público.

Moscoso, Perdomo, Perdomo, y Mayorga (2011) utilizan la dinámica de sistemas para modelar una estación de *Transmilenio* (i.e., el sistema BRT de Bogotá, Colombia), enseñando las discrepancias del sistema en términos de los recursos disponibles y las necesidades de los usuarios. Esta tesis concluye que la creciente demanda no ha permitido que exista estabilidad en el sistema, mitigando cualquier capacidad de respuesta del mismo. Por último, determina con base en el modelo, la sobreutilización de los recursos del sistema de transporte masivo en la medida que la demanda es mayor que la oferta, lo que hace que el sistema pierda: efectividad, capacidad de respuesta y satisfacción por parte de los clientes, e incrementa sus costos operativos. En otro estudio sobre la movilidad de Bogotá, Amarillo (2011) construyó una herramienta desde la perspectiva de la dinámica de sistemas, que modela el transporte urbano de pasajeros, para simular y analizar medidas que modifiquen su comportamiento. El trabajo con escenarios de posibles comportamientos en el sistema y recomendaciones para mejorar el tiempo promedio de viaje en la ciudad.

No se encontró ningún trabajo relacionado con la dinámica de sistemas que defina una relación entre los parámetros operacionales y la reinversión de capital en el sistema, con el crecimiento de su demanda durante la etapa de desarrollo, lo que justifica la perspectiva que se le quiere dar a este trabajo.

### III. Estructura del modelo

#### A) Hipótesis dinámica

El *principio de atractividad* es un arquetipo con estructura similar al de límites de crecimiento; su diferencia radica en que éste encuentra múltiples acciones de desaceleración, causadas por límites que encuentra el sistema a lo largo del tiempo. El arquetipo toma su nombre del dilema acerca de decidir cuál de los límites enfrentar primero; es decir, qué es más atractivo en términos de beneficio futuro (Braun, 2002). El rendimiento esperado del sistema se ve afectado por límites que desaceleran su desarrollo, forzando al tomador de decisiones a una implementación de medidas, cada vez mayor, para continuar con el crecimiento esperado.

Para el modelo de simulación en cuestión, la atractividad de cada uno de los posibles medios de transporte en los que se divide la demanda (i.e., STM, TPC, Moto, Taxi), es dependiente de tres factores: la atractividad del costo, la atractividad del tiempo y la atractividad de la calidad (que se refiere a la comodidad relacionada con el porcentaje de utilización de cada medio de transporte). A fin de cuentas la atractividad total de cada opción de transporte es lo que influirá en la fluctuación de la demanda de viajes del STM. Cada tipo de atractividad enfrenta un límite que inhibe o condiciona su crecimiento, límites que son impuestos por las infraestructuras física y operativa, y por la necesidad de cada sistema de ser financieramente sostenible en el tiempo.

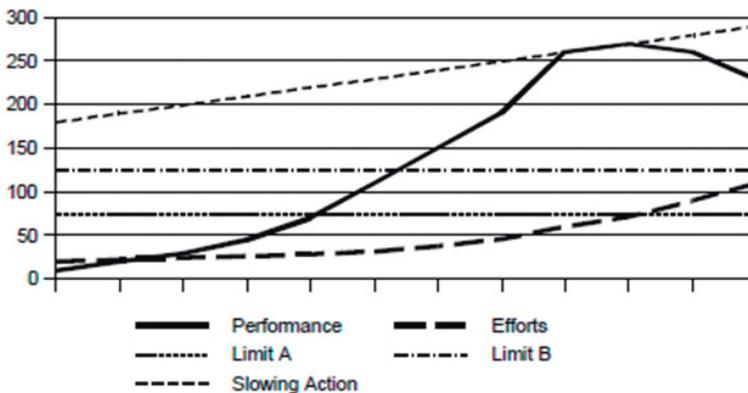


Figura 1. Comportamiento en el tiempo del arquetipo de principio de atractividad (Braun 2002)

Para el análisis de este problema se formula un modelo en dinámica de sistemas que pueda mostrar una relación entre la inversión en el sistema, sus parámetros operativos y el crecimiento de su demanda. Inicialmente se estructura un diagrama causal donde se relacionan las principales variables que condicionan el comportamiento del sistema. El diagrama causal de la Figura 2 estructura las principales variables que inciden en el comportamiento del sistema. Las relaciones entre las variables evidencian tres ciclos reforzadores y cuatro compensadores.

El ciclo R1 indica como el incremento en los usuarios del STM aumenta el capital para inversión en Rutas Pre troncales y alimentadoras [PyA], lo que después de un retraso en el tiempo aumentará la cobertura, trayendo nuevos usuarios al STM.

El ciclo R2, muestra como el incremento de usuarios en el STM, aumenta los ingresos y el capital destinado para inversión. Esta inversión se verá reflejada, después de un tiempo, en más infraestructura, disminuyendo la congestión del sistema y su efecto adverso en la velocidad promedio. Al aumentar la velocidad promedio, el sistema será más atractivo, lo que conllevará a una fracción mayor de ingreso de usuarios al STM.

El ciclo R3, enseña como el incremento de usuarios en el STM, aumenta el capital destinado a la inversión en buses, permitiendo la compra de vehículos y la disminución en la brecha entre el porcentaje de utilización actual y el deseado. Esta disminución, hará más atractiva la calidad del STM, haciendo que aumente el ingreso de usuarios al sistema.

El ciclo B1 representa uno de los límites del sistema. Al crecer el número de usuarios y al tener un número limitado de buses, el porcentaje de utilización de los buses aumentará, haciendo menos atractivo al sistema, lo que disminuye el ingreso de usuarios del STM.

El ciclo compensador B2 muestra como el incremento en el número de buses, genera congestión en el sistema, disminuyendo su velocidad promedio y su atractividad. Esto a final de cuentas reducirá el número de usuarios del STM y la posible inversión que se puede hacer en buses.

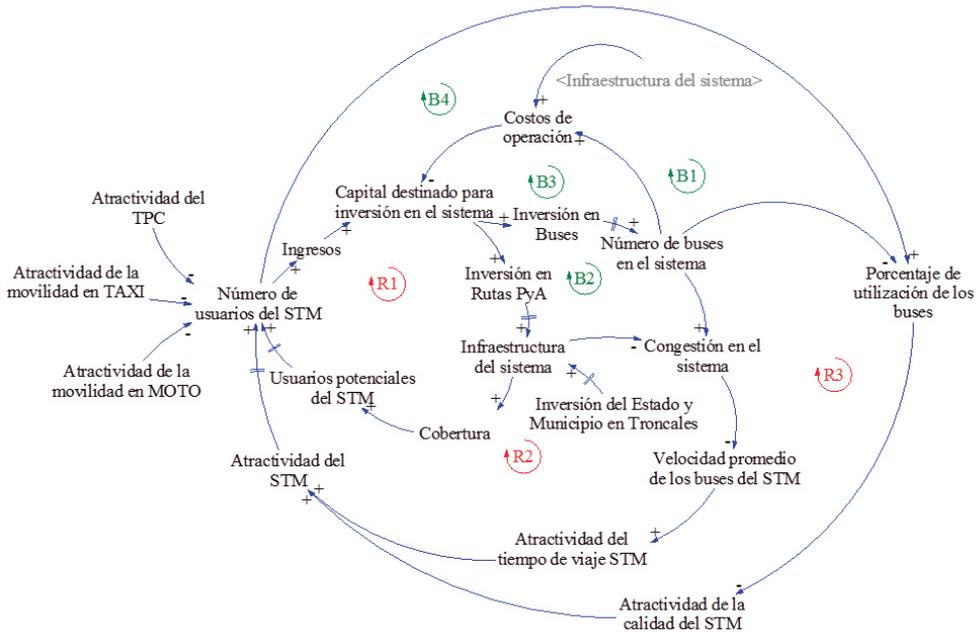


Figura 2. Modelo causal del desarrollo de un sistema de transporte masivo

El ciclo compensador B3, hace que al subir el número de buses en el sistema, suban los costos de operación y se afecte el capital inversionista, lo que limitará la inversión que se puede hacer en los vehículos.

El ciclo compensador B4, muestra que al incrementarse la infraestructura física y de rutas del sistema, aumentan los costos de operación, disminuyendo la fracción de capital que puede ser invertida en infraestructura.

**B. Diagrama de subsistemas**

El modelo de este trabajo estará compuesto por seis subsistemas. La Figura 3 muestra la interacción que tendrán en el modelo los subsistemas. A continuación se realizará una descripción de los componentes de cada uno.

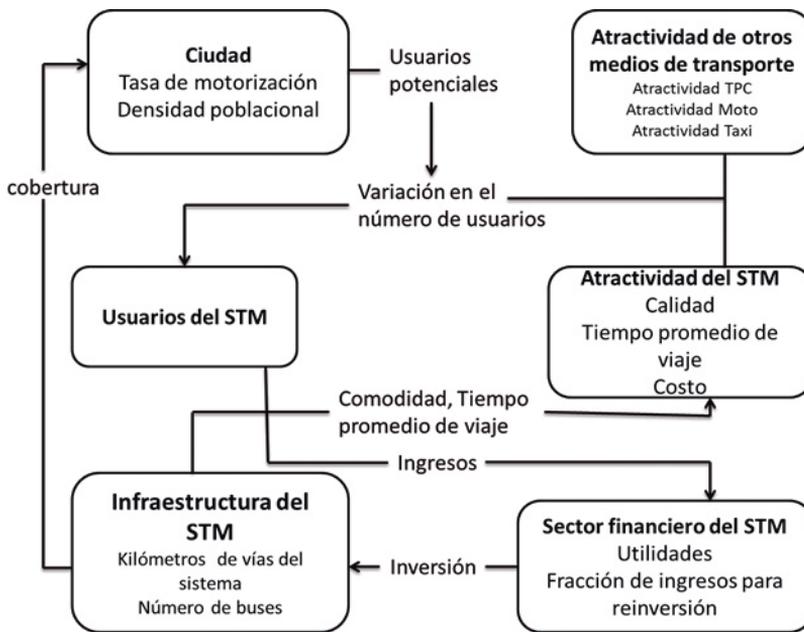


Figura 3. Diagrama de subsistemas del modelo

*Ciudad:* este subsistema está compuesto por la dinámica poblacional en la ciudad y su interacción con el sistema de transporte. Una de las entradas de este subsistema es la cobertura que tiene el STM de la ciudad; así se podrá saber el número de usuarios potenciales que tiene el STM de acuerdo con la densidad poblacional de la ciudad en cuestión.

*Atractividad de otros medios de transporte:* en este subsistema estará la atractividad constante de medios de transporte diferentes al STM. La atractividad de cada uno dependerá del costo, calidad (refiriéndose al porcentaje de utilización del vehículo) y el tiempo promedio de viaje.

*Infraestructura del STM:* este subsistema abarca todo lo referente a la infraestructura

del STM. Los kilómetros de troncales, los kilómetros asignados de PyA las estaciones de parada y los buses, son los recursos con los cuales se prestará el servicio, haciendo que los mismos, limiten los indicadores en los que se basa la atractividad del sistema.

*Sector financiero del STM:* en este sector se encuentran los ingresos, los costos operativos y el dinero a invertir, entre otros.

*Atractividad del STM:* la atractividad de un STM depende del costo de usar el sistema, el tiempo promedio de viaje y el porcentaje de utilización de sus vehículos. Este subsistema es dependiente totalmente de la infraestructura STM, ya que la misma condiciona cada uno de los puntos que define la atractividad.

*Usuarios del STM:* los usuarios del STM tiene una variación en el tiempo, esta variación depende de que tan atractivo es el STM frente a los demás medios de transporte.

### **C) Modelo de simulación**

El modelo se basó en el MIO, el sistema de transporte masivo de la ciudad de Cali; se tomó la cobertura esperada de acuerdo a su *plan de cobertura* (Tabla 2). El modelo toma como usuarios potenciales del STM a aquellos ciudadanos que no poseen vehículo particular, mayores de quince años, que viven en un área cubierta por el STM. La Figura 4 presenta el sub-modelo de infraestructura del STM en desarrollo. De acuerdo con una cobertura proyectada de la ciudad en el tiempo y la actual, se estima cuantos kilómetros de troncales se deben construir y cuantos kilómetros de pre-troncales y alimentadores [PyA] se deben asignar. La construcción de troncales se encuentra limitada por un presupuesto máximo en cada período (este presupuesto es constante trimestralmente), y la asignación de PyA por el porcentaje del efectivo destinado para éste propósito.

Al existir más área cubierta (la cobertura por estación troncal o paradero pre-troncal o alimentador, es de 500 metros a la redonda (Pardo, 2006)) se tendrán más usuarios potenciales del sistema; pero el porcentaje de usuarios que empieza a hacer uso del BRT está condicionado por la diferencia de atractivo entre el MIO y el promedio de atractivo de otros medios de transporte. Entre mayor sea esta diferencia, el porcentaje de ingreso de usuarios potenciales al sistema va a ser mayor. La Figura 5 muestra cómo interactúan el crecimiento de la densidad de población, la cobertura del sistema y el número de usuarios que comienza a usar el sistema o deja de hacerlo.

**Tabla 2.** Cobertura del MIO (GGT, 2006)

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Total
Infraestructura del sistema - troncal, pre-troncal y alimentadoras (km)	123.9	133.93	19.68	277.51
Área cubierta (km <sup>2</sup> )	194.6	210.4	30.9	435.9



ver dos de los parámetros que tendrá que definir el tomador de decisiones: la fracción máxima de inversión, que se refiere al porcentaje máximo del efectivo disponible que se estaría dispuesto a reinvertir en el sistema, teniendo en cuenta que la inversión en PyA tiene prioridad sobre la inversión en Buses; y el porcentaje de utilización esperada del MIO, que es el criterio de decisión de compra de los buses. Si la cantidad de personas que viaja en hora pico (11% de la demanda diaria) supera el Porcentaje de utilización esperada del MIO, se invertirá en buses, si existe la disposición de efectivo.

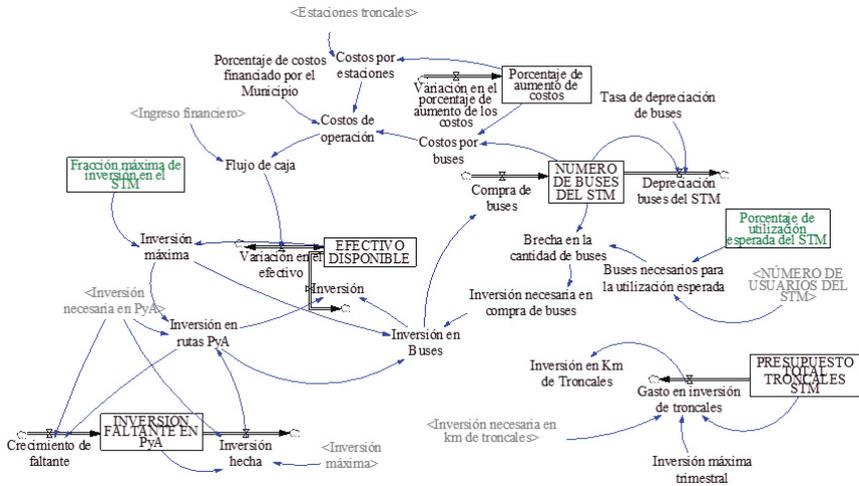


Figura 6. Estructura financiera del MIO

Como se indicó, la *atractividad* del STM es el factor más importante en el desarrollo del sistema; ella depende de la atractividad de tres elementos: el costo (i.e. qué tan costoso es transportarse en el sistema); el tiempo promedio de viaje, que a su vez está condicionado por el número de buses en el sistema y los KM de troncales del sistema (ya que si el número de buses excede la cantidad que puede soportar la infraestructura física, el sistema se saturará y se afectara la velocidad promedio, disminuyendo esta atractividad; y la calidad, que se explica como la comodidad de los pasajeros en cuanto al porcentaje de utilización de los vehículos. Este porcentaje de utilización se refiere al número de personas que hace uso del sistema en las horas pico, dividido por el producto de la cantidad de buses del sistema y la capacidad promedio de los mismos.

#### IV. Simulación y resultados

Se plantean los siguientes escenarios:

- » simulación 1 (Base): el MIO invierte hasta 80% de su efectivo disponible y fija el porcentaje de utilización esperada en 100%;
- » simulación 2: El MIO invierte hasta 80% de su efectivo disponible y fija el porcentaje de utilización en 110%; y

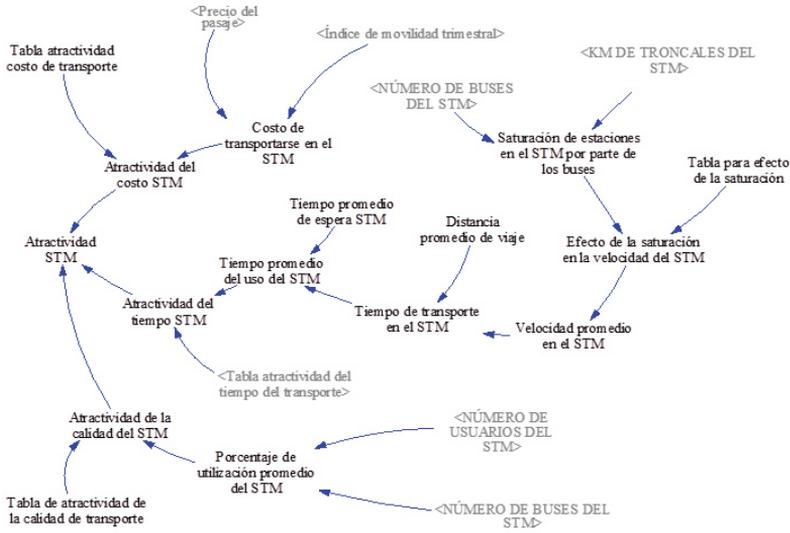


Figura 7. Atraktividad del MIO

» simulación 3: El MIO invierte hasta 80% de su efectivo disponible y fija el porcentaje de utilización en 80%.

La Figura 8 muestra la variación en el número de usuarios en el tiempo, la simulación 2 tiene un comportamiento similar a las otras hasta el trimestre 9, donde parece que encuentra un límite en su crecimiento. La simulación 3 es la que mayor número de usuarios alcanza (cerca de 400,000 usuarios diarios).

La atraktividad del MIO es lo que hace que un usuario potencial decida usar o no el sistema. En la Figura 9 se puede ver la variación de ésta a través del tiempo; si la atraktividad del MIO está por debajo de la atraktividad promedio de otros medios de transporte, el usuario optará por no usar el sistema, lo que perjudica su desarrollo.

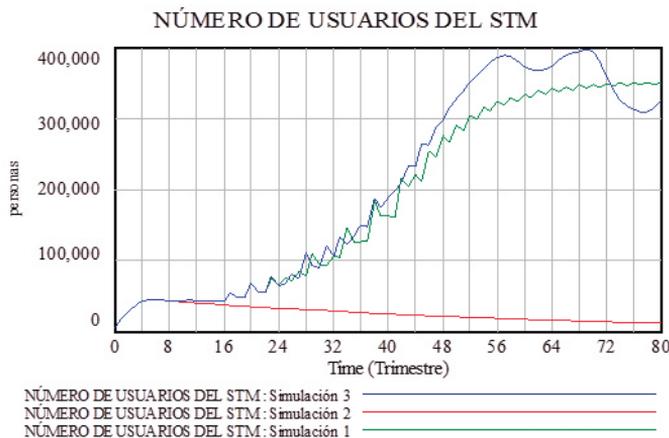
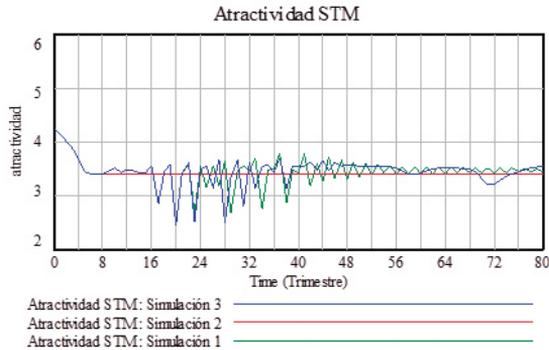


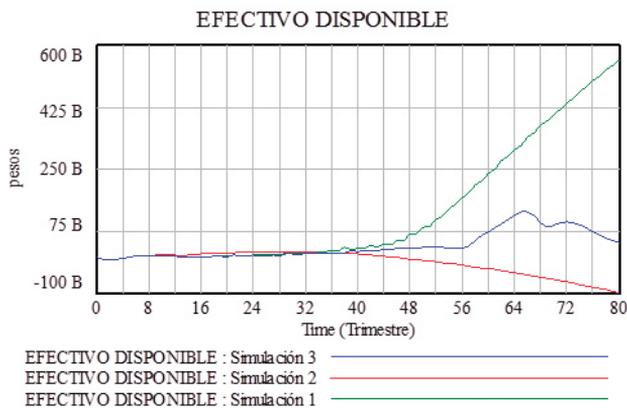
Figura 8. Número de usuarios del MIO



**Figura 9.** Comparación de atractividades

La variación observada en cada una de las simulaciones se debe a la fluctuación de las atractividades que componen la atractividad total del sistema.

En la Figura 10 se observa cómo evoluciona el sistema en términos financieros. El efectivo disponible tiene un desarrollo similar en las tres simulaciones hasta el periodo 35, donde de acuerdo con el crecimiento del número de usuarios el efectivo disponible aumenta o disminuye. La similitud de estos comportamientos se debe, hasta cierto punto, a la inversión que realiza el sistema en su propio crecimiento, es decir, al efectivo que se invierte en su desarrollo.



**Figura 10.** Efectivo disponible del sistema BRT

En la Figura 11 se observa que, pese a que la simulación 3 tiene más usuarios a lo largo del tiempo, su flujo de caja es en promedio menor que el de la simulación 1; esto se debe al gran incremento de los costos operativos por mantener un porcentaje de ocupación de los buses en el 80%, afectando directamente la rentabilidad del sistema. Además, se observa que el límite de crecimiento de usuarios del sistema genera un punto de inflexión en el flujo de caja, disminuyendo la utilidad que tenía el sistema en su desarrollo.

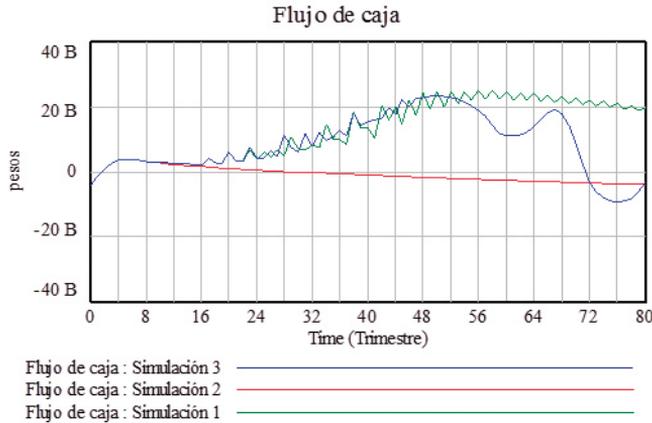


Figura 11. Flujo de caja del sistema

## Conclusiones

El límite de crecimiento de un STM está condicionado por su atractividad. En el caso de este modelo, la atractividad de la calidad juega un papel preponderante como límite de crecimiento del sistema, ya que la simulación 3 tiene su límite con 100,000 usuarios más que la simulación 1.

El parámetro *Porcentaje de utilización esperado del MIO* incide directamente en el éxito del sistema. En la simulación 2, el porcentaje de utilización designado de 110% se alcanza en el sistema cerca del sexto período, haciendo tan poco atractiva su calidad que el crecimiento del sistema se estanca y el número de usuarios termina disminuyendo paulatinamente.

Disminuir el *Porcentaje de utilización esperado del MIO* de 100% hasta 80% aumenta en promedio un 15% los costos operativos por trimestre. Asimismo los ingresos financieros aumentan en 5% por trimestre. Lo que no es rentable para el sistema.

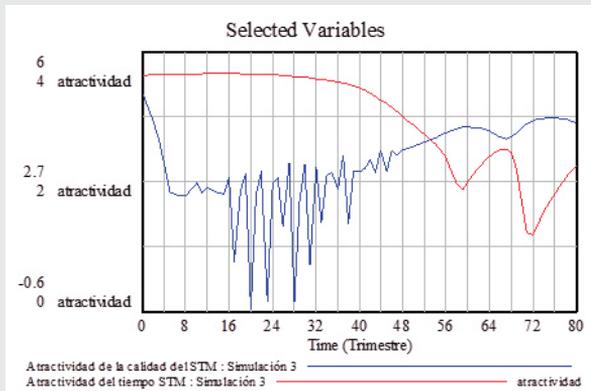


Figura 12. Trade-off de atractividad

En la dinámica del desarrollo de un STM, se crea un *Trade-off* (Figura 12) entre la atractividad de la calidad y la atractividad del tiempo de viaje. Esto sucede cuando se escoge un porcentaje de ocupación que puede incrementar la tasa de buses por kilómetro de troncal, generando congestión en las estaciones y disminuyendo la velocidad promedio.<sup>58</sup>

## Referencias bibliográficas

- Amarillo, G. (2011). *Análisis del transporte en la ciudad de Bogotá desde la perspectiva de la dinámica de sistemas* [Tesis]. Universidad los Andes: Bogotá D.C., Colombia
- Braun, W. (2002). *The Systems Archetypes* [en línea]. Recuperado de [http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/sd/wb\\_sysarch.pdf](http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/sd/wb_sysarch.pdf)
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2003, dic. 15). *Documento Conpes 3260: Política nacional de transporte urbano y masivo* [en línea]. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes/3260.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2007, dic. 17). *Documento Conpes 3504: Sistema integrado de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros para Santiago de Cali – seguimiento* [en línea]. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes/3504.pdf>
- Grupo de Gestión y Tecnología S.A [GGT]. (2006). *Asesoría en operación y transporte para el sistema integrado de transporte de Santiago de Cali – MIO* [en línea]. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/planeacion/descargar.php?id=26972>
- Institute for Transportation & Development Policy [ITDP]. (2007). *Bus rapid transit planning guide* [en línea]. Recuperado de <http://www.itdp.org/microsites/bus-rapid-transit-planning-guide/brt-planning-guide-in-english/>
- Ley 310 de 1996. (1996, agosto 6). *Diario Oficial No. 42.853*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia
- Moscoso, J., Perdomo, M., Perdomo, L., & Mayorga, O. (2011). *Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A.* [ponencia en 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá – Colombia]. Recuperado de <http://www.urosario.edu.co/urosario/files/d7/d7a4cd70-169b-4124-9393-62e4914201dc.pdf>
- Pardo, C. (2006). *Sensibilización ciudadana y cambio de comportamiento en transporte sostenible* [Texto de referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo]. Bogotá, D.C., Colombia: Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional [GTZ]. Disponible en <http://cicloviarecreativa.uniandes.edu.co/english/advocacy/anexos/Sensibilizacion%20>

[ciudadana%20y%20cambio%20comportamiento.pdf](#)

Raux, C. (2003). A systems dynamics model for the urban travel system. En *Proceeding of the European Transport Conference*, 8-10 October 2003, Strasbourg [en línea]. Recuperado de <http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/09/21/86/PDF/ETC-Raux2003.pdf>

Swanson, J. (2003). The dynamic urban model: Transport and urban development. En *Proceedings of the 21st Systems Dynamics conference*, 20-

24 July 2003, New York. Recuperado de <http://www.systemdynamics.org/conferences/2003/proceed/PAPERS/147.pdf>

Vakili, K., Isaai, M., & Barsari, A. (2008). Strategic assessment of transportation demand management policies: Tehran case study. En *Proceeding of the 2008 Conference of the System Dynamics Society*, 20-24 July 2008, Athens [en línea]. Recuperado de <http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/papers/VAKIL208.pdf>

## ***Currículum vitae***

### **Juan Sebastián Orozco Ramírez**

Estudiante de X semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. Su interés por la Dinámica de Sistemas y el desarrollo de políticas públicas lo han llevado a ser ponente en el X Encuentro colombiano de Dinámica de Sistemas y en el X encuentro Latinoamericano de la misma temática. Sus trabajos se han enfocado en describir la complejidad de la implementación del Sistema Integrado de Transporte Masivo [MIO] de la ciudad de Cali.

### **Fernando Antonio Arenas Guerrero**

Ph.D(c) en Dirección de Empresas y Estrategia, Universidad de Valencia (España); Ingeniero Químico y Máster en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de la , Universidad Nacional de Colombia (Bogotá D.C.). Cuenta con veinte años de experiencia empresarial en compañías como Croydon S.A., Productos Petroquímicos S.A., Cabot Colombiana S. A. y Rubbermix S.A., desempeñando las gerencias de Investigación y Desarrollo, Producción, Operaciones y Técnica. Docente de postgrado en la Universidad Icesi y la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, y capacitador y asesor empresarial en los campos de: Mapas Estratégicos y Balanced Scorecard, Indicadores de Gestión, Aprendizaje Organizacional, Pensamiento Sistémico, Pensamiento Estratégico, Gestión del Riesgo, Dinámica de Sistemas y Simulación Financiera. Es miembro de la System Dynamics Society [SDS] y la Performance Measurement Association. Fue conferencista de la SDS en las conferencias internacionales de New York (NY, 2003), Oxford (UK, 2004), Boston (MA, 2005), Washington D.C., (2011) y St. Gallen (Suiza, 2012). Fue asesor de la Dirección de Crédito Público y Tesorería del Ministerio de Hacienda y del Banco de la República, en el desarrollo e implementación de modelos macroeconómicos y financieros de simulación.