

# UNA APROXIMACIÓN AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO A TRAVÉS DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Juan Sebastián Orozco  
 Universidad Icesi  
 Calle 18 No. 122-135  
 (572)5552334  
 juanseorozcora@gmail.com

Fernando Antonio Arenas, PhD  
 Universidad Icesi  
 Calle 18 No. 122-135  
 (572)5552334  
 faarenas@icesi.edu.co

**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 BRT en siete ciudades de Colombia, creando la necesidad de un seguimiento a su progreso y 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 que tienen los parámetros operativos y la reinversión en el sistema, en el desarrollo e incremento de la demanda del mismo. Se plantean tres escenarios para evaluar diferentes políticas operativas y de reinversión en el sistema, analizando el comportamiento en el desarrollo del mismo.*

**Palabras clave-** *Sistema de Transporte Masivo (STM), Dinámica de Sistemas, Bus de Tránsito Rápido, Simulación.*

**Abstract-** *the social and economic future of a city depends mostly 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 in develop in seven cities of Colombia, creating the need to track the progress 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 provide an overview of the impact of the operating parameters and reinvestment, in the development and increase 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.*

**Keywords-** *Mass Transit System, System Dynamics, Bus Rapid Transit, Simulation.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Un sistema tipo BRT (Bus Rapid Transit), surgió como una opción al problema del transporte en ciudades en desarrollo de América Latina. Económico en comparación al costo por kilómetro

que tiene el metro subterráneo, el tren elevado y el tren ligero; una velocidad promedio entre 20 y 30 km/h y un tiempo de implementación corto en comparación con los sistemas mencionados anteriormente, hacen del BRT una opción atractiva a implementar en una ciudad. Lo cierto es que la sostenibilidad financiera de un sistema de transporte BRT, no sólo depende de las cualidades anteriores, sino también de las políticas diseñadas e implementadas con el fin de incrementar el número de usuarios que éste transporta 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), taxi, vehículo particular y moto, para así justificar su plan de desarrollo.

La forma de captar demanda de otros medios de transporte en la ciudad, es volviéndose más atractivo en aspectos que el usuario considera relevantes en el 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, dando la posibilidad a un sistema BRT en desarrollo, de tomar las decisiones correctas en el momento correcto para ser atractivo a través del tiempo. En este trabajo se emplea un modelo de dinámica de sistemas para encontrar una relación entre los parámetros operacionales y de inversión que definen la atractividad del sistema, con el crecimiento de la demanda del mismo, y se formulan conclusiones acerca de las políticas que se pueden adoptar para el desarrollo exitoso del sistema.

## 2. SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO

Peñalosa en el papel del transporte en una política de desarrollo urbano dice: “El transporte difiere de otros problemas que las sociedades en desarrollo enfrentan debido a que con el desarrollo económico, empeora en vez de mejorar. Mientras

que las condiciones de salubridad, la educación y otros desafíos mejoran, el transporte no”.

Los sistemas de transporte masivos tipo “Bus Rapid Transit” (BRT), tienen su origen en Suramérica, funcionando 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, evitando la congestión generada por automóviles en los carriles de uso mixto y disminuyendo el tiempo de transición de pasajeros<sup>(\*)</sup>.

**Tabla 1.** Costo promedio por kilómetro de infraestructura.

| Ciudad       | Tipo de Sistema   | Costo por km (Millones de dólares/km) |
|--------------|-------------------|---------------------------------------|
| Curitiba     | Bus rapid transit | 2.5                                   |
| San Diego    | Tranvía           | 17.2                                  |
| Bordeos      | Tren ligero       | 20.5                                  |
| Kuala Lumpur | Tren elevado      | 50                                    |
| Caracas      | Metrorriel        | 90.3                                  |

En cuanto al desarrollo de los STM (Sistemas de Transporte Masivo) en Colombia existe la Política nacional de transporte urbano y masivo Conpes 3260, donde se busca impulsar la implantación de sistemas de transporte masivo en las grandes ciudades del país (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, donde según el Conpes 3260, en la ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena y Pereira, se concentra el 50% de la población y se genera el 70% PIB. Para esto la Ley 310 de 1996 dicta que, las fuentes de financiación de la infraestructura urbana de un sistema de transporte masivo, serán desde el 40% hasta el 70% por parte de la nación o sus entidades descentralizadas y el restante por parte del municipio donde será implementado. En el caso de la ciudad de Cali, en donde se enfocará este trabajo, el Estado aportó el 70% del capital necesario y el 30% restante fue aportado por el municipio (sobretasa a combustibles, presupuesto municipal). En lo referente a la planeación, gestión, operación y control del sistema, debe ser financiado por los ingresos recaudados en el MIO (Masivo Integrado de Occidente) Sistema de Transporte Masivo, 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\*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, que en el caso de la ciudad de Cali es Metrocali S.A., 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 sólo depende del ente gestor, es decir, estará encargado de la operación troncal<sup>(\*\*)</sup>, alimentadora<sup>(\*\*\*)</sup>, recaudo y control del sistema, donde los ingresos del sistemas serán el número de viajes promedio realizado por usuario, por el número de usuarios multiplicado por el costo del pasaje, y los egresos del mismo serán los costos operativos de ofrecer el servicio.

## 2.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO Y DINÁMICA DE SISTEMAS

La dinámica de sistemas ha sido utilizada para el estudio de la dinámica del crecimiento urbano. Por ejemplo Swanson, 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, donde finalmente, enseña como el modelo de Forrester de dinámica urbana ha sido modificado para contribuir en la resolución de diferentes problemas (Swanson, 2003).

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: precio, frecuencia del servicio y financiamiento público (Raux, 2003).

<sup>(\*\*)</sup> Operación en los carriles sólo bus.

<sup>(\*\*\*)</sup> Operación en los carriles mixtos.

<sup>(\*)</sup> Tiempo de ascenso y descenso de pasajeros al bus.

En otro estudio realizado en Teherán (Vakili, 2008), se 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 ha 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.

En “Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A.”(Moscoso, et al, 2011) se utiliza la dinámica de sistemas para modelar una estación de Transmilenio<sup>(\*)</sup>, enseñando las discrepancias del sistema en términos de 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 al modelo, la sobreutilización de los recursos del sistema de transporte masivo en la medida que la demanda es mayor que la oferta, haciendo que el sistema pierda efectividad, capacidad de respuesta, satisfacción por parte de los clientes e incremento de los costos operativos.

En otro estudio sobre la movilidad de Bogotá, se 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 (Amarillo, 2011).

En lo referente a un 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, no se encontró literatura disponible, justificando el desarrollo de este trabajo.

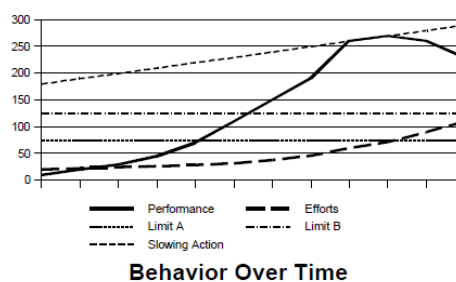
<sup>(\*)</sup> Sistema BRT de la ciudad de Bogotá (Colombia).

### 3. ESTRUCTURA DEL MODELO

#### 3.1 HIPÓTESIS DINÁMICA

**Principio de atractividad:** 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 (STM, TPC, Moto, Taxi), es dependiente de tres tipos de atractividad. La atractividad de costo, la atractividad de 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 final de cuentas la atractividad total de cada opción de transporte es lo que influirá en la fluctuación de la demanda de viajes del sistema de transporte masivo. Cada tipo de atractividad enfrenta un límite que inhibe o condiciona su crecimiento, estos límites están impuestos por la infraestructura física, operativa y la necesidad de cada sistema de ser sostenible financieramente en el tiempo.



*Figura 1. Comportamiento en el tiempo del arquetipo de principio de atractividad. Fuente: Braun 2002.*

#### 3.2 DIAGRAMA CAUSAL

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 asimismo 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 MIO, 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 MIO,

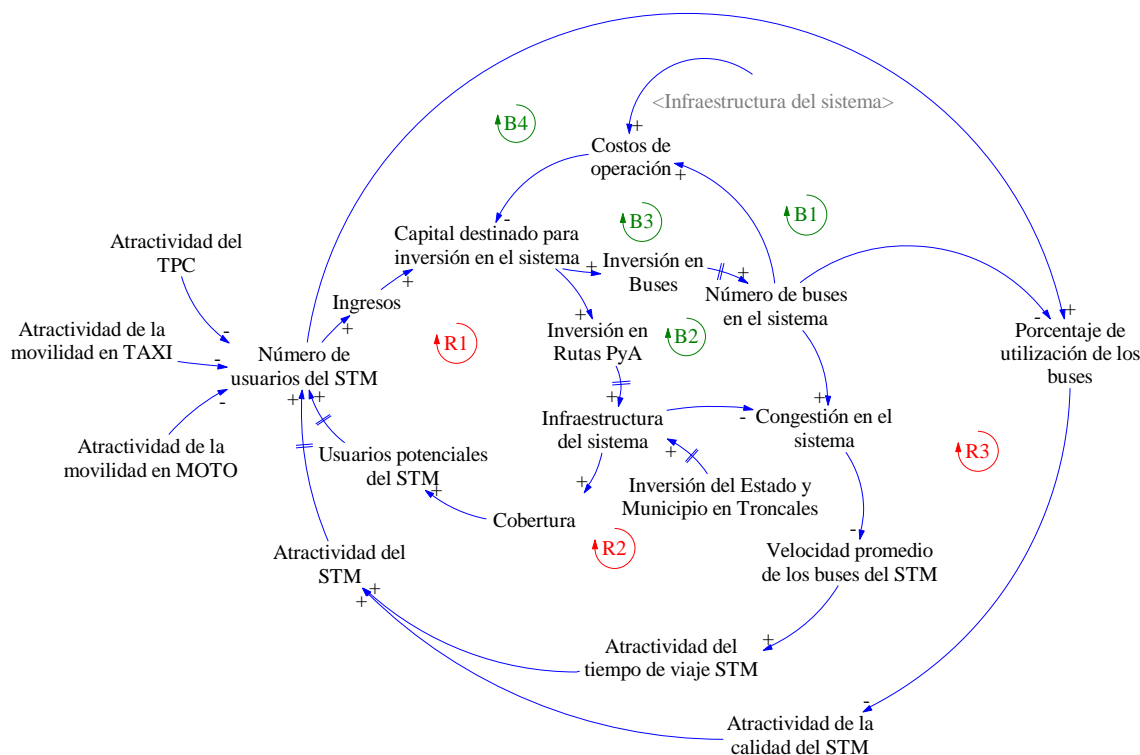
haciendo que aumente el ingreso de usuarios al sistema.

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 MIO.

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

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.



**Figura 2.** Modelo Causal del desarrollo de un sistema de transporte masivo.

### 3.3 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.

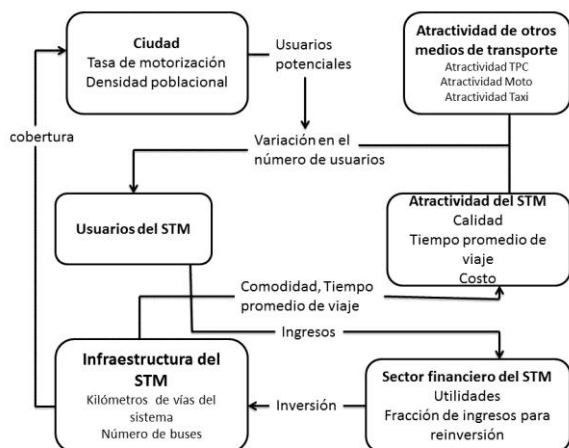


Figura3. Diagrama de subsistemas del modelo.

**Ciudad:** el subsistema Ciudad, 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 sistema de transporte masivo de acuerdo a la densidad poblacional que posea 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 de estos medios 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 pre-troncales y alimentadores (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 (tiempo promedio de viaje, porcentaje de utilización de los buses y el costo del servicio).

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

**Atractividad del STM:** la atractividad de un sistema de transporte masivo depende del costo de usar el sistema, del 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.

### 3.4 MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo en Dinámica de Sistemas basó en el sistema de transporte masivo en desarrollo en la ciudad de Cali (MIO), se tomó la cobertura esperada de acuerdo al plan de cobertura del MIO, lo que impulsará su expansión. El modelo toma como usuarios potenciales del sistema de transporte masivo, a aquellos ciudadanos que no posean vehículo particular, sean mayores a quince años y vivan en un área cubierta por el sistema de transporte masivo.

La figura 4 presenta el submodelo de infraestructura del sistema de transporte masivo 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 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 un porcentaje del efectivo destinado para éste propósito.

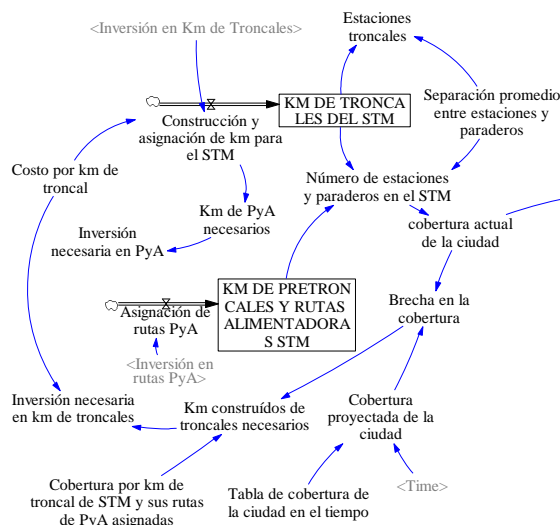
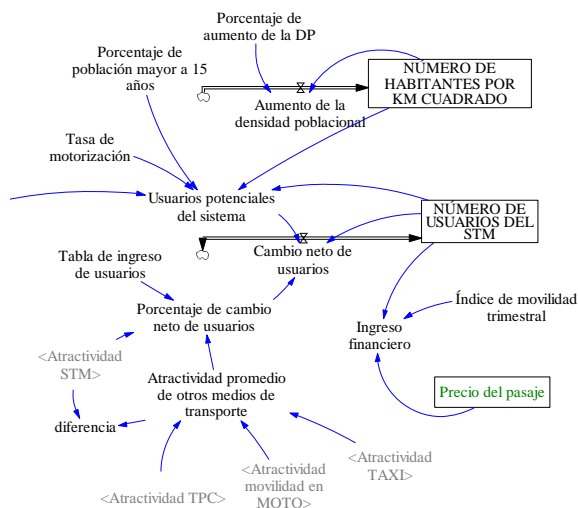


Figura4. Infraestructura del MIO

**Tabla 2.** Tabla de cobertura del MIO (Metrocali)

|  | fase 1<br>(2004-2009) | fase 2<br>(2009-2011) | fase 3<br>(2011-2012) | Total  |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Infraestructura del sistema (Troncal, pretroncal y alimentadoras) (Km) | 123.90                | 133.93                | 19.68                 | 277.51 |
| área cubierta (Km <sup>2</sup> )                                       | 194.6                 | 210.4                 | 30.9                  | 435.9  |

Al existir más área cubierta<sup>(\*)</sup> 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 (TPC, taxi y moto). Entre mayor sea la diferencia de *Atractividad del MIO* frente a la *Atractividad promedio de otros medios de transporte*, el porcentaje de ingreso de usuarios potenciales al sistema va a ser mayor. La figura 5 muestra como interactúan, el crecimiento de la densidad de población, la cobertura del sistema, y el número de usuarios que comienzan a usar el sistema o dejan de hacerlo.

**Figura 5.** Submodelo poblacional y de ingreso de usuarios al sistema

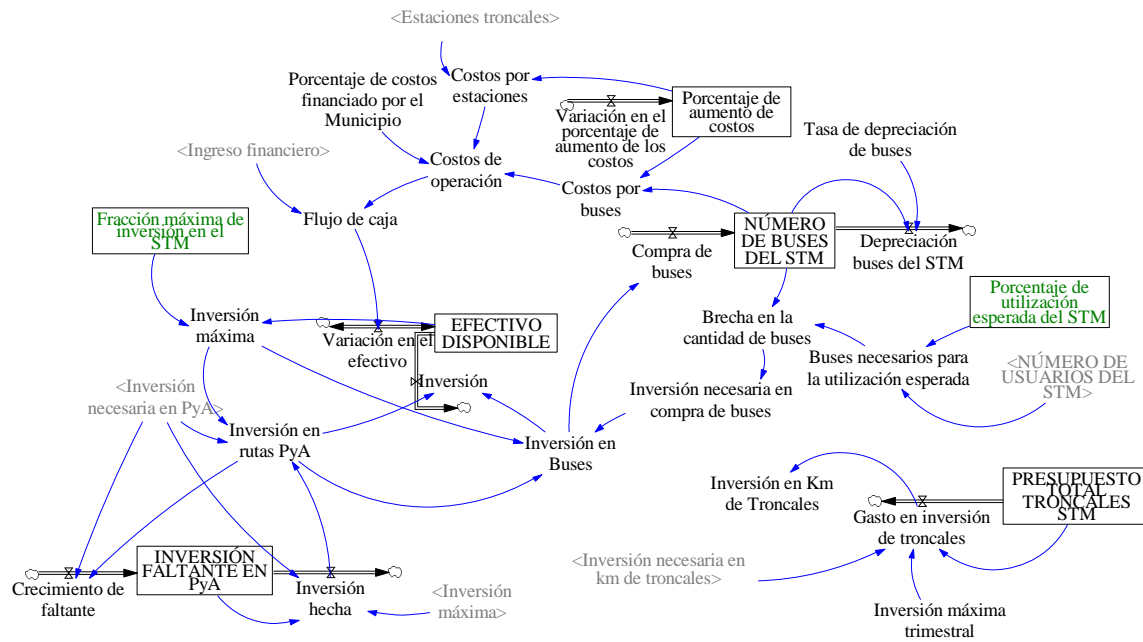
La figura 6 muestra el submodelo financiero del sistema de transporte. Los ingresos del sistema dependerán del *Precio del pasaje*, del *Índice de movilidad trimestral* y del *NÚMERO DE USUARIOS DEL MIO*. Como se trabaja con

periodos trimestrales, se asume que la cantidad de viajes que una persona realiza (*índice de movilidad trimestral*), es de dos viajes (ida y regreso), por día laboral. Los costos de operación, dependen de la cantidad de buses en el sistema y del número de estaciones troncales en funcionamiento.

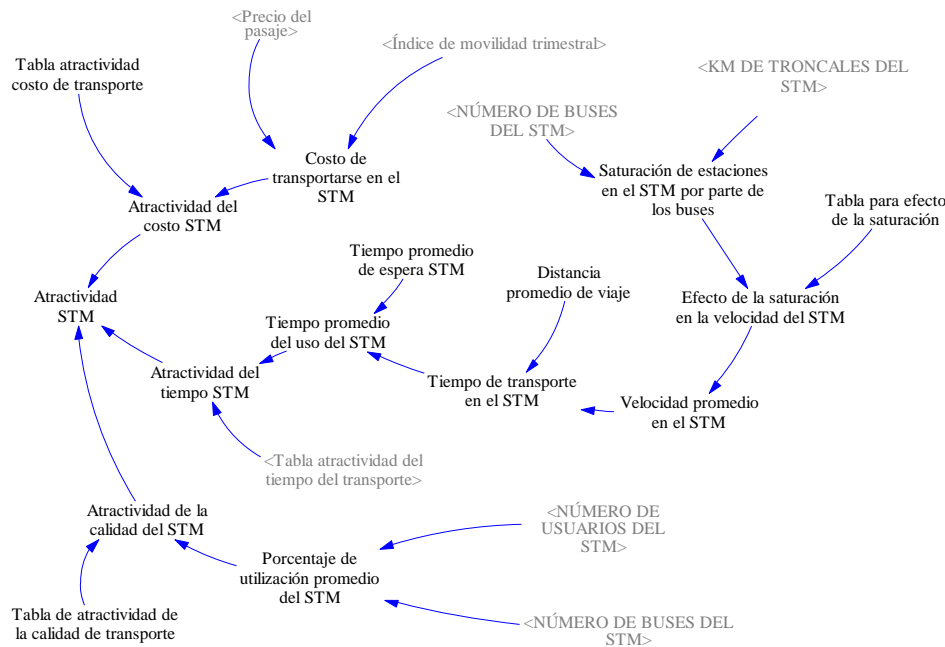
En este submodelo se pueden ver dos de los parámetros que tendrá que definir el tomador de decisiones: *Fracción máxima de inversión*, que se refiere al porcentaje máximo del efectivo disponible que se estaría dispuesto a reinvertir en el sistema, teniendo en cuenta que la *Inversión en PyA* tiene prioridad sobre la *inversión en Buses*; el otro parámetro se refiere al *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 en la disposición de efectivo.

La *Atractividad del MIO* (Figura 7) es el factor más importante en el desarrollo del sistema, esta depende de tres tipos de atractividad: la *Atractividad del costo*; la *Atractividad del tiempo de viaje* y la *Atractividad en la calidad*. La primera se refiere a qué tan costoso es transportarse en el sistema. La segunda al tiempo promedio de viaje que está condicionado por el *Número de buses en el sistema* y los *KM DE TRONCALES DEL SISTEMA*, ya que si el número de buses en el sistema excede la cantidad que puede soportar la infraestructura física, el sistema se saturará, viéndose afectada la *velocidad promedio del MIO*, lo que en últimas terminará disminuyendo esta atractividad. La tercera atractividad explica 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.

(\*)El área cubierta por estación troncal o paradero pre-troncal o alimentador, es de 500 metros a la redonda.



**Figura 6. Modelo financiero del STM**



**Figura 7. Atractividad del STM**

#### 4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

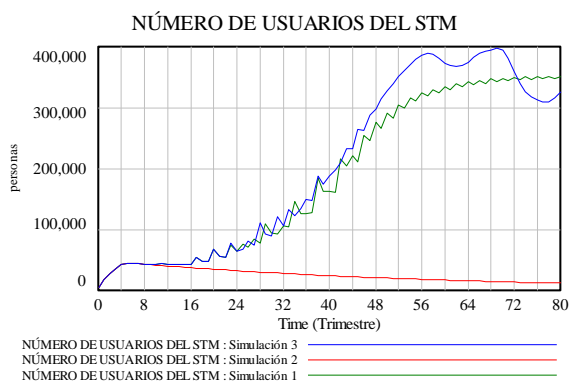
Se plantean tres escenarios:

1. Base (simulación 1): el MIO invierte hasta el 80% de su efectivo disponible y fija el porcentaje de utilización esperado en 100%.
2. Simulación 2: El MIO invierte hasta el 80% de su efectivo disponible y fija el porcentaje de utilización en 110%.

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

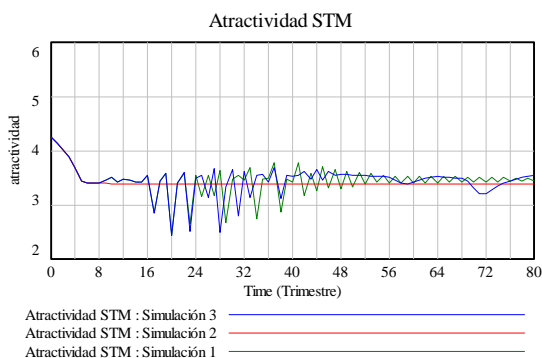
La Figura 8 muestra la variación en el número de usuarios en el tiempo, la simulación 2 tiene un comportamiento similar a las otras hasta el trimestre 9, donde parece encontrar un límite en su crecimiento. La simulación 3 es la que mayor número de usuarios en la simulación, alcanza cerca de 400,000 usuarios diarios. La simulación 1

presenta un comportamiento con oscilaciones breves durante su desarrollo.



**Figura 8.** Número de usuarios del MIO

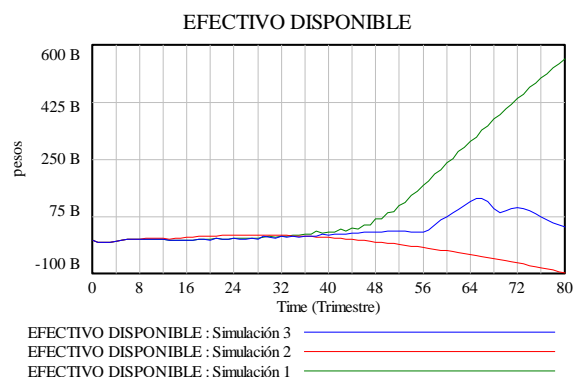
La *Atractividad del MIO* es lo que hace decidir a un usuario potencial si entrar o no a hacer uso del sistema. En la figura 9 se puede ver la variación de ésta a través del tiempo, ya que si la *Atractividad del MIO* está por debajo de la *Atractividad promedio de otros medios de transporte*, el usuario optará por no usar el sistema, lo que perjudica el desarrollo del mismo. La variación observada en cada una de las simulaciones es debido a la fluctuación de las atractividades que componen la Atractividad total del sistema.



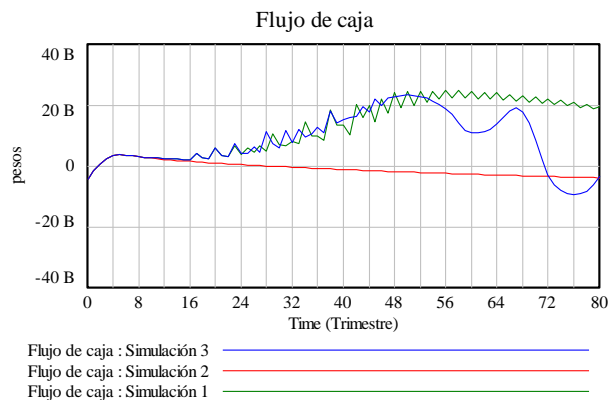
**Figura 9.** Comparación de atractividades

En la figura 10 se observa como evoluciona el sistema en términos financieros. El Efectivo disponible tiene un desarrollo similar en las 3 simulaciones hasta el periodo 35, donde de acuerdo al 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.

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 debido al gran incremento que tienen los costos operativos al mantener un porcentaje de ocupación de los buses del 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 10.** Efectivo disponible del sistema BRT



**Figura 11.** Flujo de caja del sistema.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio permite concluir que:

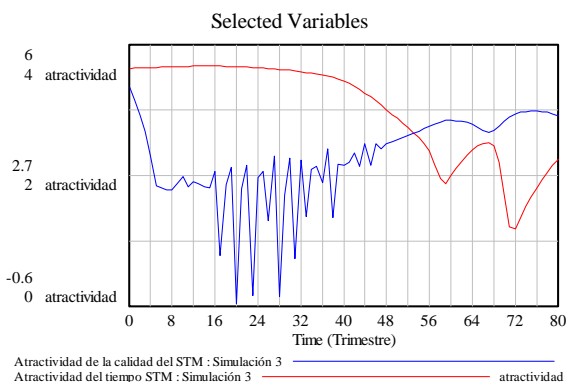
El límite de crecimiento de un sistema de transporte masivo esta condicionado por su atractividad. En el caso de este modelo, la atractividad de la calidad juega un papel preponderante como límite de crecimiento del sistema, ya que la simulación 3 tiene su límite con 100,000 usuarios más que la simulación 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 la calidad del mismo que el crecimiento del sistema se estanca y el número de usuarios termina disminuyendo paulatinamente.

El disminuir Porcentaje de utilización esperado del MIO del 100% hasta el 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 pueda incrementar la tasa de buses por kilómetro de troncal, generando congestión en las estaciones y disminuyendo la velocidad promedio del sistema.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Alcaldía de Santiago de Cali, Cali en cifras 2011. *Departamento administrativo de planeación*, Cali, 2011, p. 10-28.
- [2] Alcaldía de Santiago de Cali, Asesoría en operación y transporte para el sistema integrado de transporte de Santiago de Cali – MIO. Disponible: [www.cali.gov.co/planeacion/descargar.php?id=26972](http://www.cali.gov.co/planeacion/descargar.php?id=26972) [citado el 20 de junio de 2012]
- [3] Alcaldía de Santiago de Cali, Plan de desarrollo municipal 2012-2015. Disponible: <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicacion.es.php?id=44418> [citado el 19 de mayo de 2012]
- [4] Alcaldía de Santiago de Cali, Plan de ordenamiento territorial. Disponible: <http://www.cali.gov.co/planeacion/> [citado el 18 de mayo de 2012]
- [5] Alcaldía de Santiago de Cali, Plan Integral de Movilidad Urbana. Disponible: <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicacion.es.php?id=32150> [citado el 18 de mayo de 2012]
- [6] Amarillo G., análisis del transporte en la ciudad de Bogotá desde la perspectiva de la dinámica de sistemas [Tesis de Pregrado]; Universidad los Andes, Bogotá, 2011.
- [7] Braun W., "The Systems Archetypes". 2002. Disponible: [http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/sd/wb\\_sysarch.pdf](http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/sd/wb_sysarch.pdf) [citado el 27 de julio de 2012]
- [8] Cali cómo vamos, Calímetro 2011, balance de la primera fase del SITM-MIO a 30 de junio de 2011. Disponible: <http://www.calicomovamos.org.co/calicomovamos/files/CALIMETRO/Cal%C3%ADmetro%20SITM%20MIO%20a%20Jun%202011.pdf> [citado el 10 de julio de 2012]
- [9] Cámara de comercio de Bogotá, Observatorio de movilidad de Bogotá y la región, 2007.
- [10] Departamento nacional de planeación. CONPES 3166, Sistema integrado de transporte masivo de pasajeros para Santiago de Cali. 2002.
- [11] Departamento nacional de planeación. CONPES 3260, Política nacional de transporte urbano y masivo. 2003.
- [12] Departamento nacional de planeación. CONPES 3368, Política nacional de transporte urbano y masivo. 2005.
- [13] Departamento nacional de planeación. CONPES 3369, Sistema integrado de transporte masivo de pasajeros para Santiago de Cali. 2005.
- [14] Departamento nacional de planeación. CONPES 3504, Sistema integrado de transporte masivo de pasajeros para Santiago de Cali. 2007.
- [15] Drew D., Dinámica de sistemas aplicada. España: Isdefe, 1995. p. 25- 57.
- [16] Institute for transportation and development policy. "BRT planning guide". Disponible: <http://www.itdp.org/documents/Bus%20Rapid%20Transit%20Guide%20-%20complete%20guide.pdf> [citado el 27 de Julio de 2012]
- [17] Mantilla J., Proyección de costos de un bus articulado con motor dedicado a gas natural para ser utilizado en los sistemas de transporte masivo de Colombia. En: Dyna, Año 76, Nro.

- 157, p. 61-70. Medellín, Marzo de 2009. ISSN 0012-7353.
- [18] Metrocali. Costo de troncales. Disponible: <http://www.metrocali.gov.co/cms/troncales-2/> [citado el 10 de Julio del 2012]
- [19] Moller R., La alternativa para el transporte público colectivo en Colombia. *Universidad Del Valle*. Cali, 2004, p. 6-12.
- [20] Montezuma R., presente y futuro de la movilidad urbana en Bogotá: Retos y realidades. Bogotá: VEEDURIA DISTRITAL – INJAVIU – EL TIEMPO, 2000. ISBN. 958-96854 -1-2. p. 30-98.
- [21] Moscoso G., July; Perdomo M., “Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A.”. Bogotá D.C.: Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2011.
- [22] Peñalosa E., Módulo 1a: transporte sostenible. El papel del transporte en una política de desarrollo urbano. Eschborn: GTZ. 2006. p. 1.
- [23] Raux C., “A systems dynamics model for the urban travel system”. Proceeding of the European Transport Conference, 8-10 October 2003, Strasbourg, p. 1-21.
- [24] Sterman J., Business Dynamics. McGraw-Hill Higher Education, 2000, p.178-188.
- [25] Swanson J., “The Dynamic Urban Model: Transport and Urban Development”. Proceeding of the 21<sup>st</sup> Systems Dynamics conference, 20-24 July 2003, New York.
- [26] Transmilenio S.A. Finanzas y economía de transporte masivo. Bogotá D. C. 2001.
- [27] Vakili K., et al. “Strategic Assessment of Transportation Demand Management Policies: Tehran Case Study”. Proceeding of the 2008 Conference of the System Dynamics Society, 20-24 July 2008, Athens.



[www.dinamica-de-sistemas.com](http://www.dinamica-de-sistemas.com)

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



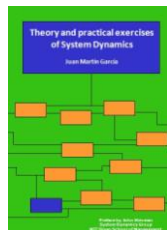
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



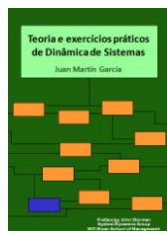
[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)