



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Méndez-Giraldo, Germán; Álvarez-Pomar, Lindsay
Dynamic model to analyze pedestrian traffic policies in Bogota
Dyna, vol. 81, núm. 186, agosto, 2014, pp. 276-283
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631663035>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System
Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal
Non-profit academic project, developed under the open access initiative

Dynamic model to analyze pedestrian traffic policies in Bogota

Germán Méndez-Giraldo ^a & Lindsay Álvarez-Pomar ^b

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. gmendez@udistrital.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. lalvarez@udistrital.edu.co

Received: May 12th, 2014. Received in revised form: July 1th, 2014. Accepted: July 28th, 2014

Abstract

Pedestrian systems are increasingly becoming important for transportation planning in cities, however, approaches are meant for microscopic analysis and representation, thus do not seem to be adequate for decision making at this specific strategic level, because of their feedback relationships between different levels, which cannot be easily represented with these approaches.

This paper presents a prototype for analysis at strategic level of pedestrian systems, by making use of industrial dynamics. This approach allows to represent the relations of these feedback systems, through the use of both quantitative and qualitative, to analyze the responses of the system in the long run.

It is concluded that the proposed prototype allows to be a support for the strategic decisions of these systems; allows analysis related to investment in education and regulation of deaths and injuries as well as their impact on the accident and the social cost.

Keywords: Systems analysis and design; urban development; system identification; Computational modeling culture; socio-technical systems.

Modelo dinámico para analizar políticas relacionadas con el tráfico peatonal en Bogotá

Resumen

Los sistemas peatonales cobran cada vez más importancia en la planeación del transporte en las ciudades, sin embargo, los enfoques utilizados para su análisis y representación son de tipo microscópico y no son adecuados para la toma de decisiones en el nivel estratégico de los sistemas peatonales; principalmente, porque en ellos se presentan relaciones de realimentación entre los diferentes niveles, que no se pueden representar fácilmente de esa manera.

En este artículo se presenta un prototipo para el análisis del nivel estratégico de los sistemas peatonales, haciendo uso de la dinámica industrial. Este enfoque permite representar las relaciones de realimentación propias de estos sistemas, a través del uso de información tanto cuantitativa como cualitativa, para analizar las respuestas del sistema en el largo plazo. Se concluye que el prototipo propuesto permite ser un soporte para la toma de decisiones estratégicas de estos sistemas.

Palabras clave: Análisis y diseño de sistemas, desarrollo urbano, identificación de sistemas, modelado cultural computacional, sistemas socio-técnicos.

1. Introducción

Uno de los principales desafíos de las ciudades es garantizar su movilidad, tanto de los vehículos como de los peatones. De hecho, su planeación se ha enfocado hacia los vehículos, especialmente los motorizados. Sin embargo, su rápido crecimiento porcentual ha generado problemas como la congestión en el tráfico de las ciudades, elevados niveles de contaminación y de accidentalidad. Estos fenómenos han hecho que se busquen medios alternativos de transporte que viabilicen la movilidad de las ciudades. Principalmente, se desplazarse en bicicleta o a pie, a través de la construcción

de infraestructuras que permitan que estos desplazamientos se realicen de forma segura e interconectada con otros medios como el transporte público. De hecho, cada vez es más común encontrar ciclo-rutas, así como vías peatonales, donde se ha restringido total o parcialmente el tráfico de vehículos motorizados, como es el caso de Grafton Street en Dublín, Rockefeller Plaza y Broadway en Manhattan y la carrera séptima en Bogotá. Sin embargo, estos cambios, que se son cada vez más comunes, en muchos casos no obedecen a políticas de peatonalización de las ciudades, sino que son resultado de decisiones que buscan dar respuesta a problemas existentes de movilidad.

En el caso específico de los sistemas peatonales, estrategias como las de reducción de velocidad de tráfico, implementación de barreras peatonales y semaforización peatonal, no son resultado del despliegue de decisiones de nivel estratégico, sino que son implementaciones de nivel operativo que buscan disminuir la accidentalidad peatonal. El problema de estas implementaciones es que se convierten en esfuerzos aislados geográficamente en las ciudades y el impacto real de largo plazo es difícil de cuantificar y de modelar.

El modelado en transporte no se refiere únicamente a la estimación de la demanda de usuarios que desean desplazarse de un lugar a otro en la ciudad, sino que por tratarse de un sistema complejo, involucra muchas otras variables, actores y hechos [1]. Tampoco puede ser visto únicamente como un fenómeno en el que el objeto de estudio consiste en el actuar del grupo de usuarios del sistema de transporte, sino que implica considerar instituciones, reglamentaciones e incluso aspectos culturales que inciden directa o indirectamente en la gestión del sistema de transporte [2].

El objetivo de esta investigación es proponer un prototipo para el análisis del nivel estratégico de los sistemas peatonales, haciendo uso de la dinámica industrial, para reconocer y representar las relaciones de realimentación propias de estos sistemas, a través del uso de información tanto cuantitativa como cualitativa, para analizar las respuestas del sistema en el largo plazo y servir de base para su planeación y toma de decisiones, de manera que se puedan predecir los efectos de la implementación de políticas antes de su ejecución. En la primera sección se muestran aplicaciones de la dinámica industrial a los sistemas de transporte; en la segunda se analiza la dinámica del nivel estratégico de los sistemas peatonales, que sirve como base para el desarrollo del prototipo para evaluar políticas relacionadas con el tráfico peatonal de Bogotá, que se muestra en la última sección. Finalmente, se muestran los principales resultados del análisis de escenarios.

2. Dinámica industrial en sistemas de transporte

La dinámica industrial o dinámica de sistemas de Jay Forrester [3], del Instituto Tecnológico de Massachusetts, es una metodología para el estudio de sistemas complejos, como los industriales y sociales, que permite construir modelos matemáticos de diversa índole. Se diferencia con otros métodos porque estudia la retroalimentación de los sistemas, a través de la identificación de causas y efectos, así como de las demoras en la información y materiales. La estructura de los modelos de dinámica de sistemas se compone de niveles o acumulaciones, flujos y tasas que regulan las entradas y salidas de los flujos a los niveles, para analizar los efectos de los bucles o ciclos de realimentación a través de ecuaciones diferenciales parciales [4].

La dinámica de sistemas permite incluir aspectos específicos en el modelado de los sistemas de transporte, así como su impacto en las condiciones de vida de sus habitantes, mientras que los métodos tradicionales para la evaluación de sistemas de transporte no son efectivos porque no consideran variables de tipo social y económico

[5]. De hecho, la aplicación de la dinámica de sistemas para la representación de los sistemas de transporte es evidente.

En 1998, Peschon, Isaksen y Hajdu [6], propusieron una estrategia de planeación urbana, basada en el control del transporte y orientada hacia alcanzar los principios de *Ahwahnee* como modelo de desarrollo urbano. Los principios de Ahwantee fueron publicados en 1991 por la *Local Government Commission*, para proveer un plano para los gobernantes locales con el fin de crear desarrollos compactos de uso mixto, aptos para el peatón y orientados hacia la movilidad en sus comunidades.

Bachels, Peet y Newman [7], evaluaron el uso de herramientas cualitativas (diagramas causales) para identificar lazos de retroalimentación causal en las políticas de planeación que inciden en los modos de transporte. En ese mismo año se dio inicio al proyecto ASTRA, cuyo objetivo fue desarrollar un modelo integral de Dinámica de Sistemas para evaluar políticas en materia de impuestos, redes de transporte, contaminación y mejora de la seguridad en Europa, de manera simultánea. Estos temas implican: transporte (TRA), economía regional y uso de la tierra (REM), macroeconomía (MAC) y medio ambiente (ENV) [8].

En el 2000, Emberger [9] hace una composición de sistemas socioeconómicos para identificar la estructura del estilo de vida y economía occidental por medio de la dinámica de sistemas, analizando un sistema de transporte con alto consumo energético. En el 2001, se consideró la interacción compleja entre el transporte y la contaminación del aire en la ciudad de Seúl [10], además de integrar un modelo de dinámica de sistemas y ciertos elementos de simulación basada en agentes, que establecieron las relaciones existentes entre propietarios de vivienda, empresas, transporte, uso de la tierra y medio ambiente [11].

Más adelante, el modelo Mobisim fue fruto de un proyecto financiado por el gobierno Francés con el fin de brindar una ayuda relevante en la toma de decisiones estratégica en transporte colectivo y desplazamiento individual diario con relación al desarrollo del territorio, analizando población, vivienda, trabajo, transporte, desplazamientos y medio ambiente [12]. Posteriormente, Raux, planteó tres ejemplos de modelos aplicados al transporte público en los que se mezclan concepciones de dinámica de sistemas y econometría. El primero de estos modelos busca generar escenarios para evaluar el efecto en las condiciones de auto-financiamiento de un sistema de transporte público a partir de la modificación en políticas tarifarias, de inversión pública en el sistema de transporte y de frecuencia de los buses en dicho sistema. El segundo, consiste en establecer un modelo basado en dinámica de sistemas para evaluar la decisión de los usuarios con respecto a utilizar vehículos particulares, transporte público o desplazarse a pie. El tercero, es un modelo combinatorio de tiempos de congestión y salida de Vickrey, utilizando funciones de cuello de botella [13].

Entrando en el ámbito de los avances más recientes, se encuentra el aporte de González y Winch, quienes proponen en su trabajo la formulación de escenarios factibles para la implementación de un sistema de vehículos puerta a puerta con mini - oficinas para que las personas puedan trabajar

mientras se desplazan [14]. En el año 2007 [15] modelaron el crecimiento urbano basado en dinámica de sistemas y autómatas celulares. En el año 2008, [16] compararon las condiciones de transporte de la Carrera 13 y la Avenida Caracas en Bogotá y desarrollaron algunos modelos matemáticos que permitieron establecer relaciones de eficiencia entre ambos corredores urbanos. Finalmente, se tienden a integrar aspectos ya no puramente técnicos de los sistemas de transporte, sino que involucran aspectos políticos, sociales y culturales [1], como el modelo de [17], usando dinámica de sistemas para evaluar el impacto de distintas estrategias en el sistema de transporte de la ciudad de Teherán. Y en el 2013, Callejas, Valero y Alarcón [18] utilizaron la dinámica de sistemas para evaluar la calidad del servicio de transporte en términos de comodidad y rapidez en una ciudad intermedia.

Como conclusión, a pesar de que no se han realizado modelos específicos para los sistemas peatonales, el desarrollo que ha tenido la aplicación de la Dinámica de Sistemas en el estudio de los problemas de transporte muestra que es una herramienta que permite realizar análisis integrales en sistemas de transporte.

3. Dinámica del nivel estratégico del sistema peatonal

En los sistemas peatonales se pueden identificar los niveles de decisión estratégico, táctico y operativo. Sin embargo, el nivel operativo es el que más ha tenido contribuciones académicas y prácticas. Por otro lado, en los planes de movilidad peatonal de algunas ciudades se pueden identificar ciertos factores de los demás niveles, pero que no tienen en cuenta las relaciones de realimentación que se presentan entre sus componentes, sino que se enfocan principalmente hacia la toma de decisiones sobre elementos particulares como por ejemplo la seguridad o las multas. En el nivel estratégico se pueden identificar inicialmente las decisiones relacionadas con la infraestructura, el presupuesto [19], las políticas y la normatividad [20]. En el nivel táctico, se pueden identificar las campañas, las multas y la información. Y en el nivel operativo, se encuentran básicamente las que toman los peatones.

La dinámica del nivel estratégico de los sistemas peatonales se puede representar con base en cinco factores clave que influyen en la toma de decisiones: los recursos económicos, las multas, la publicidad social, el cambio cultural y la accidentalidad. El análisis de la interacción de estos factores permite analizar a nivel macro el comportamiento del sistema en el largo plazo. El primero de ellos es el relacionado con los **recursos económicos**; se refiere al dinero que se destina para invertir y gastar en el sistema peatonal. Estos recursos pueden provenir de distintas fuentes, siendo la principal el presupuesto Distrital, cuya suma es definida por el Concejo de Bogotá, que es un grupo de personas elegidas popularmente para tomar ciertas decisiones de la ciudad. Otra fuente de recursos económicos es el dinero que se recibe por concepto de multas y sanciones, que se convierte en una fuente variable a lo largo del tiempo; no sólo por la incertidumbre para pronosticar la cantidad de multas, sino por la incertidumbre en el pago por parte de los sancionados.

Las **multas** son las sanciones económicas que se imponen a las personas, naturales o jurídicas, por infringir la normatividad. Las multas pueden ser impuestas tanto a peatones como a vehículos, pero sólo se considerarán aquellas sanciones económicas que se imponen directamente a quienes circulan a pie.

La **publicidad social** tiene como fin motivar a las personas para que ejercer cambios en el sistema a través de cambios en su comportamiento individual, que se consideran necesarios para que el sistema evolucione de manera positiva. La publicidad social se presenta como campañas, ya sean televisivas o de cualquier tipo.

El **nivel cultural** se considera como el nivel de cumplimiento de las normas que existen en el sistema. Se considera que un alto nivel cultural es deseable y necesario para que el sistema evolucione de la manera como se ha planeado o como se espera; asumiendo que las normas son la base de la planeación y buscan salvaguardar la vida y el bienestar de las personas.

El **nivel de accidentalidad** se refiere a la cantidad de accidentes que involucran peatones. Los accidentes pueden provocar lesiones en las personas implicadas o incluso su muerte.

Las relaciones entre los diferentes factores se pueden representar como lazos de retroalimentación positiva y/o negativa, creando un arquetipo sistémico haciendo uso de la metodología propuesta por Forrester, como se puede ver en la Fig. 1, con el fin de entender la dinámica del nivel de decisión estratégico y de las políticas relacionadas con peatones para poder evaluar su impacto real sobre el sistema peatonal. En este caso, la publicidad social afecta positivamente el cambio cultural; es decir, mientras más publicidad social en el sistema, habrá más cambio cultural, como respuesta a las intervenciones que se hacen por ejemplo a través de campañas. Por otro lado, la publicidad social afecta negativamente las multas; es decir, mientras más publicidad social, hay menos multas, debido a las modificaciones del comportamiento que realizan las personas como respuesta a las invitaciones a cumplir las normas. A su vez, mientras más multas, habrá más cambio cultural y más recursos económicos que afectan positivamente la publicidad social; las multas económicas se consideran una estrategia de tipo reactivo y correctivo, que busca generar en las personas un sentimiento de aversión a cometer nuevamente violaciones a las normas, por eso se considera que tienen carácter formativo. Por otro lado, su recaudo permite tener más recursos económicos que se pueden invertir en publicidad social.

Mientras mayor sea el nivel de accidentalidad, habrá más multas, que se convierten en mayor cantidad de recursos económicos que permiten más publicidad que genera un mayor cambio cultural. Por otro lado, mientras más cambio cultural, habrá un menor nivel de accidentalidad. Aumentos en el nivel de accidentalidad provocan disminuciones en los recursos económicos del sistema, debido al gasto de recursos inherente a este tipo de sucesos. Por ejemplo, el pago que se hace al personal de tránsito para que restablezca la normalidad en el tráfico, el dinero que se debe invertir para arreglar la infraestructura afectada, entre otros.

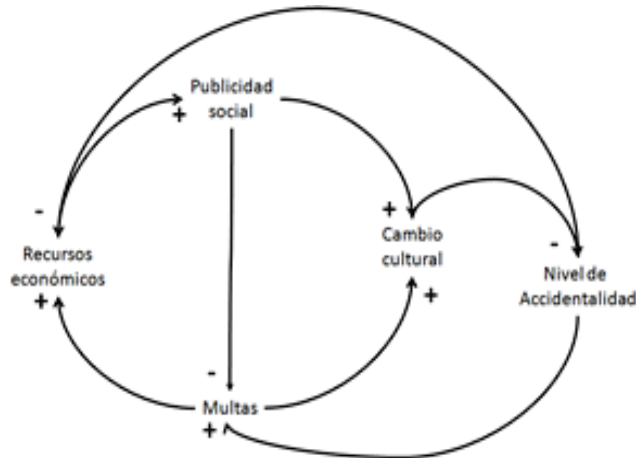


Figura 1. Modelo dinámico de políticas en el Sistema Peatonal del Distrito.
Fuente: Los autores

Adicionalmente, mientras más publicidad social se realice, se espera que disminuya la cantidad de multas. Sin embargo, esto genera una disminución en el recaudo de dinero por esta causa, que se ve reflejado en una disminución del nivel de recursos económicos con que cuenta el sistema peatonal de Bogotá.

Una vez se tiene el arquetipo sistémico, se identifican los tipos de flujos que hay en el sistema, así como las variables y se representan las relaciones a través de ecuaciones para poder crear el prototipo que se muestra en la siguiente sección.

4. Prototipo para analizar las políticas relacionadas con el tráfico peatonal en Bogotá

Para realizar el prototipo se utilizó el software de simulación continua IThink versión 8.0. Este software cuenta con tres niveles de trabajo: el nivel de interfaz, el mapa y modelo, así como el nivel de ecuaciones. El primer nivel permite crear interfaces de "alto nivel" pensadas para un usuario final, permite definir sectores y subsistemas dentro del modelo general que se está trabajando, desplegar gráficas de simulaciones, incorporar controles, etc. El nivel mapa & modelo sirve para representar los modelos mentales con el fin de simular. En el nivel de "modelo" es donde se formalizan las relaciones numéricas, valores, ecuaciones y se construyen los modelos de simulación. Finalmente, en el nivel de ecuaciones se pueden ver las ecuaciones diferenciales asociadas al modelo.

4.1. Bloques constructores

Se da en el nivel mapa/ modelo del software *I Think*. Con el fin de representar el comportamiento del sistema peatonal en Bogotá, se identifican algunas variables y parámetros que influyen y se deben tener en cuenta para la toma de decisiones. Debido a que el prototipo se hizo mediante dinámica industrial, se identificaron niveles, tasas, parámetros y variables (convertidores y variables auxiliares), entendiendo por cada uno de ellos lo siguiente:

4.1.1. Niveles

Representan las acumulaciones. Mediante la investigación inicial, se concluye que en los sistemas peatonales se pueden identificar los siguientes niveles:

- Recursos. Se refiere a los recursos económicos con que cuenta el sistema para invertir en educación. Se obtienen a través del presupuesto Distrital y de los recaudos por concepto de multas.
- Publicidad. Es la cantidad de mensajes que se dan en el sistema, por cualquier medio, y que buscan mejorar el nivel cultural. Depende del presupuesto, del valor de la publicidad y del olvido de los mensajes.
- Cultura. Es un intangible que se refleja en las medidas de desempeño del sistema, por lo que se considera el nivel más importante del modelo. Se afecta por todos los esfuerzos que se realizan en el sistema para influenciar de manera directa el comportamiento de los peatones y afecta el nivel de accidentalidad. Un máximo nivel de cultura es el respeto total por todas las normas y las personas. El mínimo es un estado de irrespeto total. Este nivel se alimenta por las contribuciones a la cultura, que vienen dadas por la relación entre el nivel de publicidad y el aporte real de este a la cultura (relaciona el costo social de la accidentalidad con la inversión en publicidad social). Es decir, que mientras el nivel de publicidad se acerca más al costo social de la accidentalidad, mayor es el nivel cultural.
- Multas. Es el nivel de infracciones a las normas que son penalizadas. Se disminuye por los pagos realizados por los infractores o por la extinción de la vigencia de las multas.
- Accidentalidad. Representa la cantidad de accidentes que suceden en el sistema y que provocan lesiones y muertes en los peatones.

4.1.2. Tasas

Las tasas son las encargadas de controlar los niveles, tanto porque permiten la entrada, como la salida de los flujos en el sistema. Son las tasas de cambio de un nivel, llenan o desocupan niveles; pueden ser de entrada (*inflow*) o de salida (*outflow*) y sus cambios se representan con ecuaciones diferenciales de primer orden, que permiten la representación matemática del modelo mental. Las tasas que se tienen en cuenta en el prototipo son las siguientes:

- Entrada de recursos. Regula la entrada al nivel de recursos económicos para educación que provienen del Distrito y de los pagos de las multas.
- Inversión Educación. Regula la salida del nivel de recursos económicos con que se cuenta para la educación de los peatones.
- Mensajes. Regula la entrada al nivel de publicidad, teniendo en cuenta el presupuesto para publicidad y el costo de la misma.
- Olvido. Regula la salida del nivel de publicidad. Representa la falta de efectividad de la publicidad y se representa por la proporción de personas que a pesar de haber recibido mensajes de publicidad social, incurren en faltas relacionadas con las que trataban de evitar los mensajes.
- Ganancia. Es la tasa de entrada de la cultura. Depende

- de los aportes de la publicidad.
- Pérdida. Es la pérdida de cultura, que es afectada por la regulación y otros factores.
- Disminución de accidentes. Representa la tasa a la cual disminuyen los accidentes y es afectada por el nivel cultural.
- Aumento de accidentes. Es la tasa a la cual se presentan los accidentes de peatones en Bogotá.
- Aumento de multas. Es la tasa a la cual se imponen multas en el sistema peatonal. Es afectada por los comparendos que se le imponen a los peatones por incumplir las normas de tránsito.
- Salida de recursos. Es la tasa a la cual se disminuye el nivel de multas, a través del pago de los comparendos que se han impuesto y de la salida de los recursos captados que van a afectar el nivel de recursos económicos con que cuenta el sistema.

4.1.3. Convertidores o variables auxiliares

Modifican entradas en salidas, son útiles para desagregar y romper en detalles la lógica del modelo, calculan relaciones algebraicas, pueden ser constantes utilizadas para calcular el valor de un flujo. Al contrario de los niveles, los convertidores no acumulan nada. La siguiente es la lista de los principales convertidores y/o variables auxiliares que se identificaron en el sistema peatonal:

- Costo de lesiones. Es el costo promedio en el que se incurre por cada lesionado que se presenta en un accidente de tránsito [21].
- Costo de muerte. Es el costo promedio en el que se incurre por cada persona muerta a causa de accidentes de tránsito [21].
- Costo social. Es el costo que tiene para la sociedad la ocurrencia de las lesiones y muertes en los sistemas peatonales. Está afectado por los dos anteriores. Se le llama costo “social” porque involucra los costos por incapacidades, seguros, cuantificación de la afectación a familiares de víctimas, entre otras variables.
- Costo de campañas. Es el costo aproximado de las campañas publicitarias.
- Valor de recordación. Es un valor que representa el tiempo que dura un mensaje en la mente de las personas. Es el tiempo que la gente recuerda una campaña.
- Presupuesto de publicidad. Es la cantidad de dinero que se destina para hacer publicidad social, con miras a mejorar el desempeño del sistema [22].
- Presupuesto Distrital. Es el total del dinero con que cuenta el Distrito al inicio de cada año [22].
- Valor de cada campaña. Cantidad promedio de dinero que cuesta cada campaña.
- Recordación. Es la proporción de campañas que realmente recuerdan las personas a las cuales apunta la publicidad [23].
- Indicador de eficiencia. Es la relación entre lo invertido en campañas y el costo social.
- Aportes de publicidad. Es la relación entre la publicidad y el indicador de eficiencia.
- Regulación. Es el porcentaje de lesiones y muertes que se logran regular en el sistema.

- Regulación de muertes. Es el porcentaje de muertes que se logra regular en el sistema [24].
- Regulación de lesiones. Es el porcentaje de lesiones que se logra regular en el sistema [24].
- Otros Aportes. Son aportes que se hacen a la cultura de manera indirecta y que contribuyen con la toma de conciencia. Por ejemplo cuando se presencia un accidente, con mensajes que se dan en el hogar, en el colegio o en la universidad. Es una fracción de aporte cultural.
- Fracción de recaudo. Es el porcentaje de recaudo total de las multas impuestas en el sistema.
- Comparendos. Son las multas que se imponen a los peatones por parte de los agentes de tránsito [25].
- Recaudo de multas. Es la porción del dinero proveniente de pagos de multas, que se logra recaudar [25].
- Valor de multa. Es la cantidad de dinero que se impone a un peatón por incumplir las normas de tránsito [26].
- Muertes. Es la tasa de muertes que hay en el sistema peatonal [24].
- Lesiones. Representa la tasa a la cual los peatones sufren lesiones mientras permanecen en el sistema [24].

4.1.4. Conectores

Pasan información de niveles a convertidores, de niveles a reguladores de flujos, de reguladores de flujos a reguladores de flujos, de reguladores de flujos a convertidores, de convertidores a reguladores de flujos y de convertidores a otros convertidores.

La información utilizada para la construcción del modelo está basada en datos estadísticos de diferentes entidades del Distrito, como el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, la Secretaría Distrital de Movilidad y la Secretaría de Planeación, así como de publicaciones académicas del año 2007 al 2013. Cabe resaltar que no existe una base de datos donde se encuentre consolidada la información necesaria para realizar el análisis estratégico del sistema peatonal de Bogotá y que se evidencia falta de continuidad tanto en el tipo de información que se recaba año tras año, como en las entidades que las generan. Se debería hacer esfuerzos por tener sistemas de información claros, coherentes y al alcance de los ciudadanos.

Se hizo entonces necesario hacer aproximaciones estadísticas de datos faltantes o incoherentes. Sin embargo, luego de hacer aproximaciones del comportamiento de las variables definidas a través del uso de regresiones estadísticas univariadas y multivariadas, así como haciendo uso de funciones de probabilidad, al validar estadísticamente el modelo, hay un alto grado de ajuste y los comportamientos de las variables de desempeño son coherentes con el comportamiento real del sistema peatonal de Bogotá. Se tomaron como medidas de desempeño la accidentalidad y los comparendos peatonales impuestos. La validación estadística se realizó con un 95% de confianza y con una prueba *t-student* modificada para salidas sin comportamiento normal. Se tomó un tiempo de calentamiento (*warm up*) de cinco años calculado con el método de Welch.

A continuación se presenta el prototipo del modelo, en el nivel mapa y modelo del software IThink, para analizar las políticas relacionadas con el tráfico peatonal en Bogotá.

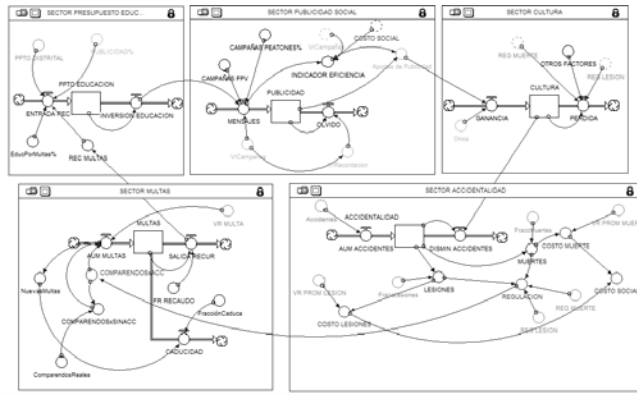


Figura 2. Modelo del Sistema Peatonal de Bogotá.
Fuente: Los autores.

5. Resultados

La cultura en el sistema peatonal de Bogotá se concibe como el nivel de cumplimiento de las normas por parte de los individuos. El nivel cultural aumenta con la publicidad social y con otros factores como la educación impartida en los centros educativos y en los hogares. El nivel cultural se disminuye en la medida en que las personas olvidan los mensajes publicitarios y disminuye su flujo de entrada en la medida en que dicha publicidad reduce su eficiencia. El nivel de accidentalidad del sistema peatonal de Bogotá presenta un patrón de comportamiento que fluctúa de manera opuesta a como lo hace la cultura. Cuando el nivel cultural es más alto, el nivel de accidentalidad tiene los niveles más bajos. De manera similar ocurre en las empresas con respecto a la calidad, pues los efectos son cíclicos, ya que en las organizaciones productivas se trabajan ciclos donde se tiene una alta cultura y se va olvidando hasta que aparece una nueva campaña y lo refuerza.

De hecho, las fluctuaciones de los niveles de publicidad se reflejan en los niveles culturales, con un retraso que puede representar el tiempo en el que se da la interiorización de las campañas. Aunque no se destina dinero por parte del distrito para educación, el patrón de comportamiento de los niveles se puede mantener con lo que aporta el fondo de prevención vial y los demás factores (educación en colegios, en empresas y autorregulación), pero los valores del nivel cultural son significativamente más bajos. Las lesiones y las muertes tienen el mismo tipo de fluctuaciones, que están asociadas al nivel cultural de la misma manera que la accidentalidad, como se puede ver en la Fig. 3.

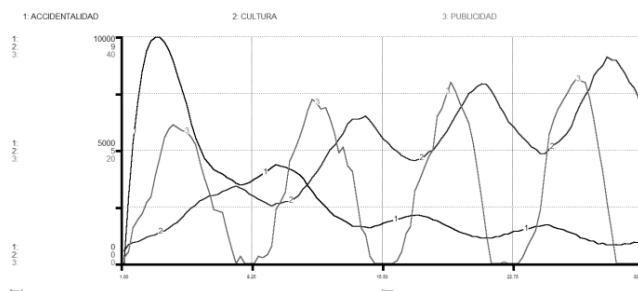


Figura 3. Niveles de accidentalidad, cultura y publicidad del Sistema Peatonal de Bogotá.
Fuente: Los autores.

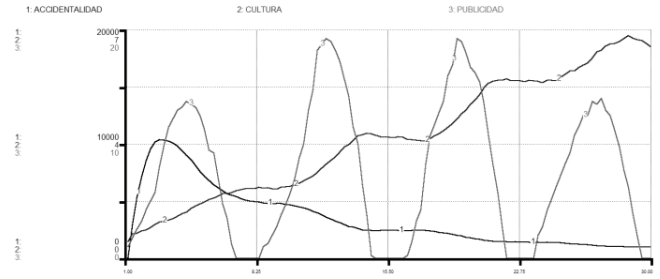


Figura 4. Niveles de accidentalidad, cultura y publicidad del Sistema Peatonal de Bogotá, con una regulación del total de accidentes y lesiones.
Fuente: Los autores.

La accidentalidad puede dividirse en muertes y lesiones, que no se regulan en un porcentaje considerable. En todo caso, dichos accidentes tienen asociados unos costos que están relacionados con la inversión en publicidad social, lo que permite dar una idea de la eficiencia real de la publicidad sobre el sistema. Sin embargo, la influencia de la regulación sobre los niveles de accidentalidad del Distrito no son tan influyentes como la educación.

Si el Distrito lograra hacer una regulación del 100% de los accidentes y lesiones, es decir si bajara al mínimo la impunidad, lograría un aumento significativo en el nivel cultural del sistema sólo al final de la segunda década de su implementación, a pesar de la disminución significativa de la accidentalidad, como se puede ver en la Fig. 4. Es decir, la inversión en educación es preferible a la inversión en regulación, en términos de cultura y accidentalidad, pero no significa que no se deba hacer una mejor y mayor regulación sobre todo de carácter preventivo, pues existe una relación reforzadora mutua entre regulación y cultura para disminuir la accidentalidad.

Sin embargo, el nivel cultural no se basa únicamente en la inversión en publicidad. Un nivel muy bajo o nulo de publicidad social no implica que el nivel cultural decaiga al límite, como se ve en la Fig. 5, pues hay otros factores que también lo afectan, como son la regulación y la educación que se da de manera indirecta en instituciones educativas. Incluso, cuando los peatones presencian un accidente, toman conciencia del peligro de incumplir las normas y puede crear una actitud reflexiva hacia el tema, que puede provocar disminución de la accidentalidad. Pero si no hay inversión por parte del Distrito, en una década se presenta el máximo nivel cultural que es la mitad del que se tiene en las condiciones actuales de operación y en adelante, se presenta una tendencia a su disminución, a pesar de la intervención del Fondo de Prevención Vial en materia de educación social.

Las pequeñas fluctuaciones que se observan en el nivel cultural se deben a los estímulos indirectos mencionados, que se hacen evidentes ante la ausencia de los estímulos del Distrito.

Por otro lado, si el Fondo de Prevención Vial no realizara intervenciones educativas sobre el sistema peatonal de Bogotá, la tendencia a la disminución de accidentes continuaría, aunque el nivel cultural disminuiría.

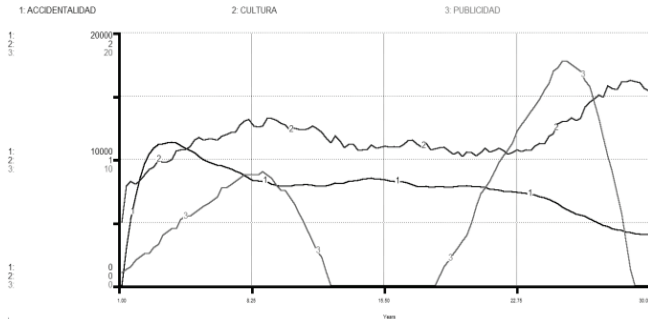


Figura 5. Niveles de accidentalidad, cultura y publicidad del Sistema Peatonal de Bogotá, sin inversión en publicidad por parte del Distrito. Fuente: Los autores.

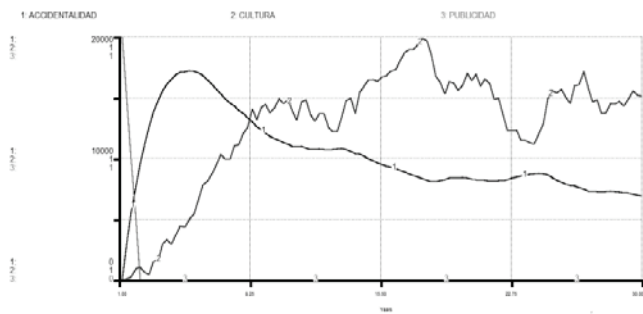


Figura 6. Niveles de accidentalidad, cultura y publicidad del Sistema Peatonal de Bogotá, con ningún tipo de inversión en publicidad. Fuente: Los autores.

De hecho, si no se tuviese ningún aporte en dinero para campañas educativas, el solo hecho de presenciar accidentes y la educación que proviene de otras fuentes, hace que el sistema se autorregule y que poco a poco aumente su nivel cultural, aunque al cabo de 30 años tome un valor apenas superior al mínimo, como se ve en la Fig. 6. El pico del nivel cultural es la respuesta a los altos niveles de accidentalidad que se presencian.

Estos comportamientos evidencian que no es un sistema caótico, sino que muestra relaciones de auto-organización; es decir, puede sobrevivir sin intervenciones externas, pero que si las recibe de manera adecuada, mejora su desempeño en términos de cultura y accidentalidad. Los olvidos o el mantenimiento de los niveles culturales también se deben a los relevos generacionales, que pueden tener niveles culturales que permanecen en el tiempo.

Por último, y yendo al otro extremo, el caso utópico que el Distrito invirtiera todo su presupuesto en publicidad social, los niveles de accidentalidad decrecerían considerablemente al cabo de tres décadas y se alcanzaría un nivel cultural muy elevado con respecto al actual, como se puede ver en la Fig. 7. Los picos de accidentalidad se deben a que en el modelo se usan intervalos de tiempo anuales, que permiten observar el nivel totalmente vacío, debido al comportamiento oscilatorio de la accidentalidad.

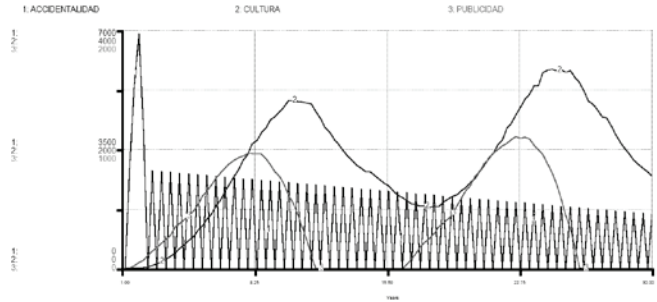


Figura 7. Niveles de accidentalidad, cultura y publicidad del Sistema Peatonal de Bogotá, si se invirtiera todo el presupuesto distrital en publicidad social. Fuente: Los autores.

6. Discusión

El prototipo presentado permite una aproximación cercana a la realidad del sistema peatonal de Bogotá, que intenta demostrar las tendencias y hacia donde deben orientarse los entes gubernamentales en materia de fijación de políticas. Sin embargo, es evidente la dificultad para obtener datos confiables, principalmente porque no se tiene una cultura de mantener estadísticas y segundo porque las cifras se manejan de forma aislada.

Las decisiones sobre inversión en regulación e inversión en prevención se deben tomar con base en el impacto que estas generan sobre el nivel cultural, pues su influencia directa sobre la accidentalidad no se puede evaluar directamente en el corto plazo.

La inversión en educación social o prevención, debería decidirse con base en el costo social por muertes y lesiones provocadas por los accidentes de tránsito que involucran peatones, pues dicha relación muestra la eficiencia en la inversión y permite una intervención tanto real como preventiva sobre el sistema peatonal de Bogotá.

La autorregulación del sistema peatonal puede entenderse como la reflexión que hacen las personas cuando presencian accidentes y como la transmisión de la cultura entre las personas a través de la educación en los hogares y centros educativos. Sin embargo, para poder lograr mejoras significativas en su nivel cultural, es necesaria la intervención en educación.

7. Conclusiones

Se deberían unificar las bases de datos disponibles para que se facilite su uso para la toma de decisiones estratégicas.

Es preferible que el Distrito invierta en educación y no en regulación de muertes y lesiones, ya sea por medio de cámaras, policías, mallas para obstaculizar el paso no permitido de peatones, entre otros. Pues cada inversión en publicidad social influye sobre el nivel cultural y este último, en la disminución de la accidentalidad. Sin embargo, no se puede desconocer el aporte de la regulación para el funcionamiento del sistema y el mantenimiento de los niveles culturales.

La inversión en educación debería equipararse con la de la accidentalidad, para poder disminuir la última de forma real y sostenida.

A pesar de que la imposición de multas a los peatones influye en su nivel cultural como parte de la regulación, realmente el aporte de los recaudos por los pagos de las mismas, no es influyente sobre el nivel de publicidad social del Distrito.

El sistema peatonal del Distrito exhibe comportamientos de auto-organización; es decir, puede sobrevivir sin intervenciones externas, pero las intervenciones relacionadas con educación, mejoran notoriamente su desempeño en términos de cultura y accidentalidad.

Referencias

- [1] Duarte, E., Desarrollo de un modelo para el sistema de transporte público de la ciudad de Bogotá, D.C., basado en dinámica de sistemas, MSc. Thesis, Industrial Engineering Department, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2011.
- [2] Hensher, D. and Button, K., Handbook of transport modelling, 2nd ed. Netherland, Pergamon, 2005.
- [3] Forrester, J., Dinámica industrial, Buenos Aires, Editorial Ateneo, 1981.
- [4] Méndez, G. and Álvarez, L., Diseño de prototipo diagnóstico para la pequeña y mediana empresa, PyME, Bogotá, Fondo editorial Universidad Distrital, 2004.
- [5] Abbas, K., The use of system dynamics in modelling transportation systems with respect to new cities in Egypt, Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 14-28, 1990.
- [6] Peschon, J., Isaksen, L. and Hajdu, L., Public decision making for land-use and transportation planning. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 19-38, 1998.
- [7] Bachel, M., Peet, J., and Newman, P., Using a systems approach to unravel feedback mechanisms affecting urban transport. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 45-57, 1999.
- [8] Schade, W., Martino, A. and Roda, M., ASTRA: Assessment of transport strategies. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 53-72, 1999.
- [9] Emberger, G., Causal loop model to describe transport system's effects on socio-economic systems. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 32-40, 2000.
- [10] Choi, N.H., Kim, S. K. and Hong, M.K., Feedback approach for the dynamic interactions between urban transportation and air pollution. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 26-43, 2001.
- [11] Heimgartner, Ch., System dynamic modeling transport and land use. A first model draft, Proceedings of Swiss Transport Research Conference, Suiza, pp. 37-54, 2001.
- [12] Koltchanov, V., Karsky, M. and Casanova, P., The individual daily mobility simulation model MobiSim, Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 55-72, 2002.
- [13] Raux, C., A systems dynamics model for the urban travel, Proceedings of European Transport Conference, pp. 12-33, 2003.
- [14] González, J.J. and Winch, G., Coming to terms with traffic congestion. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 35-54, 2006.
- [15] Rueda, L. y Rico, D., Modelamiento inicial de ciudades de países en vía de desarrollo, utilizando dinámica de sistemas, Scientia et Technica, 34, pp.421-426, 2007.
- [16] Abril, S. y Useche, D., Comparación de la eficiencia del transporte público tradicional en la Carrera 13 frente al Transmilenio de la Avenida Caracas en la ciudad de Bogotá, Bogotá. Instituto Alberto Merani. 2008, 26 P.
- [17] Vakili, K., Isaai, M. and Barsari, A.J., Strategic assessment of transportation demand management policies: Tehran case study. Proceedings of International Conference of the System Dynamics Society, pp. 21-39, 2008.
- [18] Callejas, M., Valero H. and Alarcón, A., Simulation based on system dynamics for evaluating the quality of transport service in a complex social system, DYNA, 80 (180), pp. 33-40, 2013.
- [19] Galvão, A. e Martins, N., Avaliação distributiva de benefícios e externalidades em sistemas de transportes. Proceedings of Congresso Latino Americano de Transporte Público E Urbano ALATPU, pp. 11-19, 1996.
- [20] Martins, N., Rainer, R. e Souza, R., A organização e a ocupação do espaço urbano nas cidades do século XXI: Impactos das políticas públicas do Brasil dos anos 90 no direito de ir e vir no ambiente local, Amic. Curiae, 9 (9), pp. 12-26, 2012.
- [21] Fondo de Prevención Vial, Uniandes, Costo económico de la accidentalidad vial en Colombia, Bogotá, Fondo de Prevención Vial, Bogotá, 2013, 104 P.
- [22] Secretaría de Hacienda. Presupuesto de movilidad de Bogotá, Bogotá. Alcaldía de Bogotá, 2014, 29 P.
- [23] Ipsos Napoleón Franco, Segundo estudio de comportamiento y seguridad vial, Bogotá, Fondo de Prevención Vial, 2012, 27 P.
- [24] Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, Forensis, 2012, 67 P.
- [25] Secretaría Distrital de Movilidad, Bogotá, Plan de cobro 2013 Secretaría Distrital de Movilidad, 2013, 92 P.
- [26] Banco de la República, Salario mínimo legal en Colombia. Serie histórica en pesos colombianos, 2014. [Online]. Disponible: <http://obiee.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go&Path=/shared/Consulta+Series+Estadisticas+desde+Excel/1.+Salarios/1.1+Salario+minimo+legal+en+Colombia/1.1.1+Serie+historica&Options=rd&NQUser=salarios&NQPassword=salarios&lang=es>.

G. Méndez-Giraldo, received the Bs. Eng in Industrial Engineering in 1986, the Sp. degree in Industrial Informatics in 1995, from Universidad Distrital, Bogotá, Colombia, MSc. degree in Industrial Engineering in 1997, from Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia and PhD. degree in Technical Sciences, from Universidad Central de Las Villas, Cuba. From 1989 to 1994, he worked for Siemens S.A. and from 1984 to 1989, he worked for Laboratorios Protam. Currently, he is a Full Professor in the Industrial Engineering Department, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, and he is also business consultant. His research interests include: linear programming, simulation, modeling, industrial dynamic, and expert systems.
ORCID: 0000-0002-0223-3575

L. Álvarez-Pomar, received the Bs. Eng in Industrial Engineering in 2000, the Sp. degree in Production Engineering in 2001, from Universidad Distrital, Bogotá, Colombia, and MSc. degree in Industrial Engineering in 2004, from Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. Currently, she is a Full Professor in the Industrial Engineering Department, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Her research interests include: industrial dynamics, optimization, simulation, modeling and stochastic processes applied to small and medium enterprises, urban traffic and pedestrian behavior.
ORCID: 0000-0002-8818-0901