

Estudio dinámico de la movilidad en la ciudad de Santiago de Cali - Colombia

Dynamic study of mobility in the city of Santiago de Cali - Colombia

Mayra Alejandra Arboleda, Iván Fernando Parra, Isabella Aristizábal, Hernán Sabogal.

Grupo de Estudio en dinámica de Sistemas, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle
mayra.arboleda@correounivalle.edu.co, ivanfd.92@gmail.com, aristizabal.isabella@gmail.com,
hersabo@gmail.com

--Recibido para revisión 2012, aceptado fecha, versión final 2012--

Resumen— La movilidad es un tema de interés pues todos los días se debe convivir con ella, las ciudades modernas afrontan varios problemas relacionados con la movilidad, siendo el principal de ellos la congestión. En Colombia, las principales ciudades no son ajenas a esta situación, es por ello, que se ha planteado el siguiente trabajo, el cual busca estudiar la congestión provocada por el parque automotor en la ciudad de Santiago de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca, localizada en el suroccidente colombiano, considerada una de las principales ciudades del País.

Palabras Clave— Movilidad urbana, congestión vehicular, accidentes de tránsito, dinámica de sistemas, dinámica urbana.

Abstract— Mobility is a topic of interest because every day you must live with it; modern cities face several problems related to mobility, specially the congestion. In Colombia, major cities are no strangers to this situation, therefore, the following article is presented, which seeks to study the congestion caused by the fleet in the city of Santiago de Cali, capital of department of Valle del Cauca, located in southwestern Colombia, considered one of the main cities.

Keywords—Urban mobility, traffic congestion, traffic accidents, system dynamics, urban dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la ciudad de Cali en Colombia ha experimentado un crecimiento en el número de vehículos (particulares, taxis, motos, busetas, etc.) que circulan por las vías de la

ciudad, de acuerdo con los datos obtenidos a través del Ministerio de Transporte y la Secretaría de Tránsito y Transporte municipal, lo cual contribuye a los grandes congestionamientos que se presentan frecuentemente en la ciudad y que constituyen un problema en la movilidad, problema al cual las autoridades locales no han brindado una solución definitiva; han tratado de solucionar este problema mediante medidas temporales como el denominado “pico y placa”, medida que consiste en la restricción vehicular en franjas horarias de acuerdo con el último dígito de la matrícula del auto; y la puesta en marcha del Sistema Integrado de Transporte Masivo, denominado “Masivo Integrado de Occidente” (MIO), en el cual está puesta la esperanza de algunos dirigentes como solución al problema de movilidad de la ciudad, perspectiva muy optimista, pues se estaría asumiendo que los problemas de congestión van a desaparecer por arte de magia.

Por otra parte, el incremento del parque automotor a través de los últimos años se ha visto influenciado por el pensamiento norteamericano adquirido en América latina, en el cual, el desarrollo personal se consigue con la adquisición de un vehículo, que significa un incremento simbólico de las “características socio-económicas” desplazando a un segundo plano la concepción clásica de un automóvil como medio de transporte.

2. EL PROBLEMA DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN CALI

Los habitantes de la ciudad de Santiago de Cali son víctimas de la congestión vehicular que se presenta en esta ciudad. Una de las principales causas de congestión está relacionada con la adquisición de vehículos de uso privado (particular). Según datos del ministerio de transporte y Cali en cifras 2011, el parque automotor de la ciudad se ha incrementado progresivamente cada año, según se aprecia en la figura 1 [1].

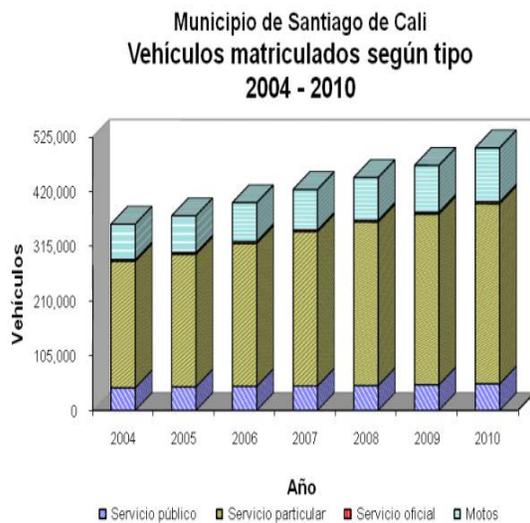


Figura 1. Incremento del parque automotor

Otro factor que influye en los problemas de movilidad en la ciudad está relacionado con el número de accidentes, debido a que éste obstaculiza el flujo de los vehículos y genera represamiento. A continuación, se muestran en las tablas 1 y 2 los datos tomados de la Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal y del Centro de Diagnóstico Automotor del Valle, relacionados con el número de accidentes de tránsito que se presentaron durante los años 2004 a 2010, según el día y la hora de ocurrencia [2].

Las autoridades locales de la ciudad de Cali han adoptado e implementado algunas medidas para regular el flujo vehicular, de ellas la más conocida es la denominada “Pico y Placa”, sin embargo, estas medidas son soluciones cuyos

efectos “positivos” son observables sólo a corto plazo [3].

Es por eso, que se hace necesario estudiar detenidamente el problema de movilidad, con el fin de identificar las variables más relevantes y así, en un futuro, establecer algunas estrategias encaminadas a mejorarla de manera que se reduzca realmente la congestión vehicular.

Tabla 1. Accidentes de tránsito según día de ocurrencia 2004 - 2010.

Día	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TOTAL	15,642	17,485	15,789	21,807	23,352	21,962	22,303
Lunes	2,143	2,453	2,121	3,050	3,191	3,030	3,534
Martes	2,341	2,531	2,425	3,107	3,412	3,205	3,414
Miércoles	2,263	2,469	2,267	3,104	3,511	3,090	3,212
Jueves	2,300	2,512	2,234	3,204	3,334	3,214	3,211
Viernes	2,508	2,826	2,556	3,453	3,676	3,328	3,127
Sábado	2,374	2,716	2,391	3,271	3,580	3,295	3,120
Domingo	1,713	1,978	1,795	2,544	2,648	2,800	2,685
Sin especificar	-	-	-	74	-	-	-

Debido a la implementación de soluciones a corto plazo como el “pico y placa”, y otras que son solo soluciones parciales, la congestión vehicular se ha establecido en la ciudad como un problema de nunca acabar, y por ello es necesario establecer las causas principales de congestión para enfocarse especialmente en su erradicación con soluciones que se ajusten a un modelo de largo plazo y no de corto plazo como se evidencia actualmente.

Es por esto, que se ha planteado este trabajo, con el fin de identificar los elementos más importantes del sistema y evaluar algunos escenarios de mejoramiento que permitan mayor movilidad y por tanto menor congestión en las vías de la ciudad.

3. REPRESENTACIÓN SISTÉMICA DE LA SITUACIÓN

De acuerdo con lo enunciado anteriormente, se ha construido el diagrama de influencias que se

muestra en la figura 1, en el cual se representan los elementos que se consideran más importantes en el problema del tráfico vehicular y las

relaciones existentes entre ellos [4]. A continuación, se explican los principales bucles de realimentación presentes en el diagrama:

Tabla 2. Accidentes de tránsito según hora de ocurrencia 2004 - 2010.

Hora	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TOTAL	15,642	17,485	15,789	21,807	23,352	21,962	22,303
00:01 - 03:00	497	740	745	940	901	833	798
03:01 - 06:00	511	614	582	675	700	793	892
06:01 - 09:00	2,252	2,585	2,420	3,340	3,709	3,404	3,359
09:01 - 12:00	2,690	2,895	2,655	3,620	3,758	3,579	3,434
12:01 - 15:00	3,072	3,342	2,922	3,824	4,110	3,936	4,017
15:01 - 18:00	3,216	3,426	3,079	4,075	4,380	4,113	4,067
18:01 - 21:00	2,388	2,661	2,178	2,836	3,410	3,459	3,689
21:01 - 24:00	1,016	1,222	1,015	1,445	1,702	1,650	1,685
Sin especificar	-	-	193	1,052	682	195	362

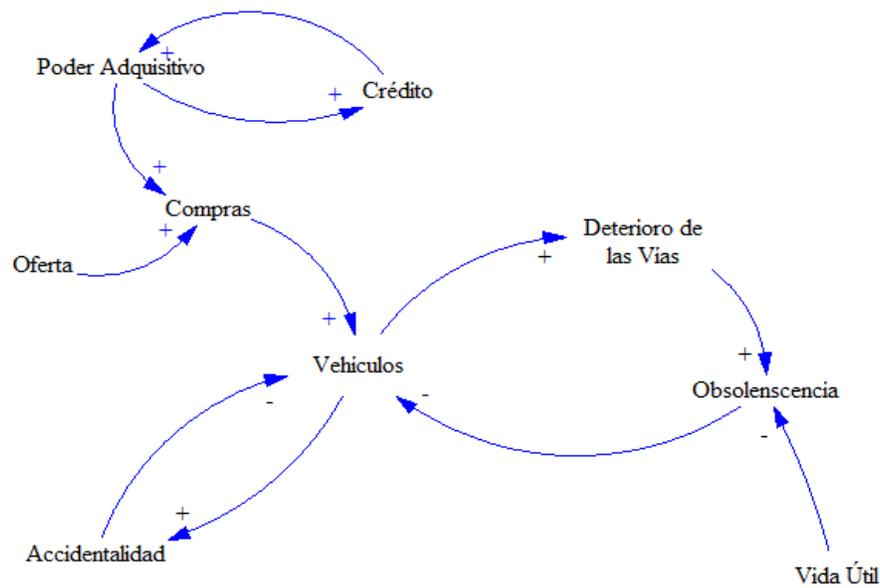


Figura 2. Representación sistémica: diagrama de influencias

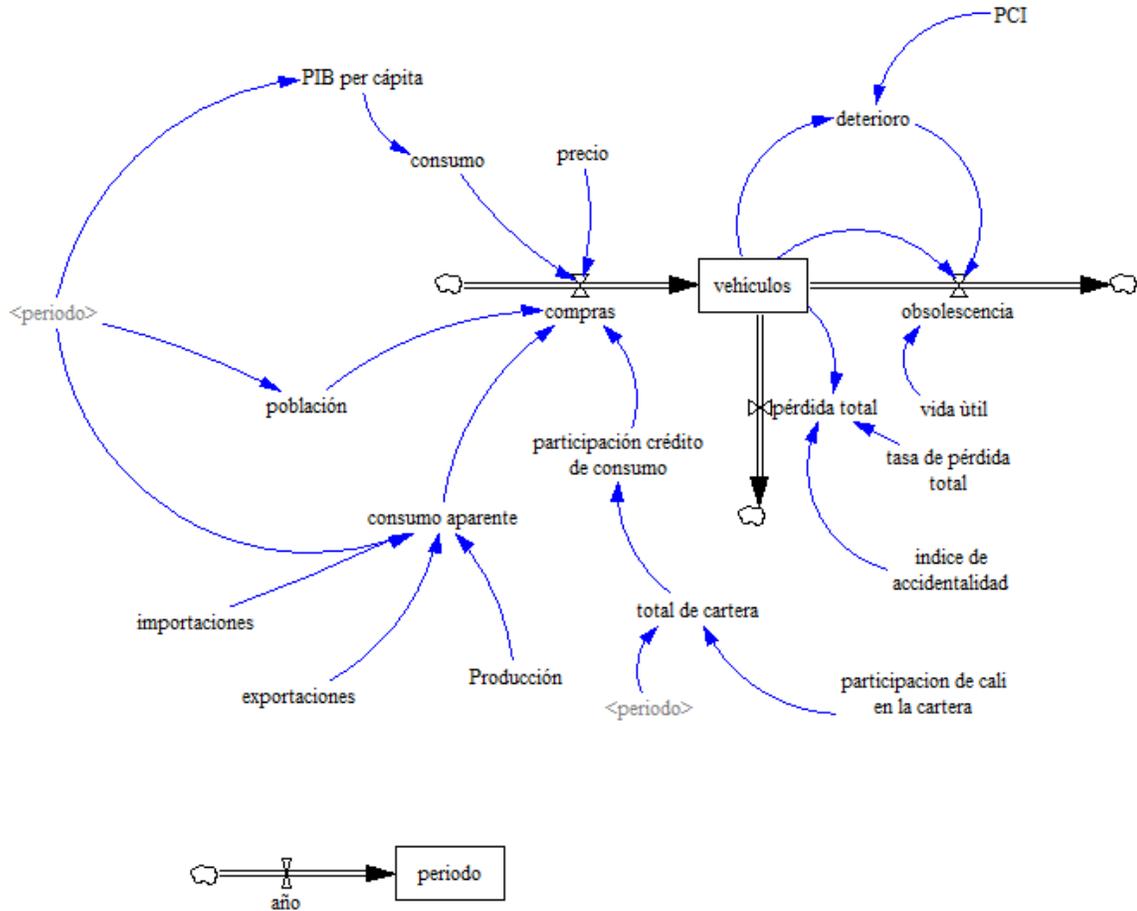


Figura 3. Representación sistémica: diagrama de forrester

Primero, puede apreciarse un efecto de refuerzo generado por el incremento en la producción de vehículos y la oferta de estos en el mercado, las cuales sumadas con la facilidad de acceso al crédito y el nivel de ingresos de la población, hacen que se incremente el parque automotor, tal como se presentó en la figura 1.

Por otro lado, la cantidad de automóviles genera un deterioro en las vías, lo cual aunque hace que también se deterioren los automóviles, contribuye con la congestión al disminuir los espacios disponibles para el tránsito, y además los vehículos deteriorados tienen más probabilidad de generar accidentes, lo que influye de forma directa sobre la cantidad de vehículos que quedan inservibles y contribuye por ende a la disminución de vehículos en circulación. Además se debe tener en cuenta la vida útil de un automóvil que de por sí es intrínseca de los vehículos. [5]

A partir de estos diagramas y utilizando la información disponible, se procedió a realizar la simulación del sistema, la cual se enfoca en prever cuál será el comportamiento de los vehículos en el largo plazo. A partir de los resultados de la simulación se pueden establecer los siguientes análisis, pero antes de los mismos, se realizará una descripción de las variables utilizadas en el modelo y los datos que se simularon.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO

Al plantear el modelo de simulación de la Movilidad en Cali, se determinaron algunas variables clave que permiten realizar una simulación cercana al comportamiento real de la

movilidad en la ciudad de Cali; dichas variables son las siguientes:

- Compras
- Obsolescencia
- Pérdida total

Las anteriores variables están influenciadas además por otras variables que son las que contienen la información esencial para realizar la simulación, estas variables son:

- Precio
- Consumo
- PIB per cápita
- Población
- Consumo aparente
- Importaciones
- Exportaciones
- Producción
- Participación crédito de consumo
- Total de cartera
- Vehículos por km de carretera
- Deterioro
- Vida útil
- Tasa de pérdida total
- Índice de accidentalidad

La primera variable que se incluyó en el modelo fue **compras**, la cual representa la cantidad de vehículos que son comprados anualmente en la ciudad de Cali; esta variable depende de otras que son las que influyen en su comportamiento a lo largo del tiempo [6]. Entre ellas se encuentran el **consumo aparente** que es calculado con base en los valores de las exportaciones, importaciones y producción de vehículos, como se expresa en la siguiente ecuación: $\text{Importaciones} + \text{producción} - \text{exportaciones}$

Los datos históricos hasta el año 2011 de importaciones, exportaciones y producción de vehículos que se tomaron de la página oficial de la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia).

Considerando estos datos, se realizaron pronósticos para los próximos 10 años, haciendo uso de técnicas de regresión lineal, considerando las tendencias de los datos anteriores [7].

Otra variable que influye en el la compra de vehículos es la **participación del crédito de consumo**, esta variable se puede interpretar como la cantidad de dinero que las personas obtienen por medio de créditos destinados a la compra de vehículos, por lo que está influenciada por el

monto **total de cartera** de consumo, en la cual la ciudad de Cali tiene una participación que varía entre 10% y 20%, considerando los datos de los últimos años [8].

El **PIB per cápita** es un buen indicador para evaluar el poder adquisitivo de la población. En la simulación se tomó el 2010 como año base, y de acuerdo a la variación porcentual histórica, partiendo desde el año 2000, se hizo la proyección del PIB per cápita de la ciudad de Cali hasta el año 2020. Para esto se utilizó una función que generara porcentajes de crecimiento aleatorios entre el rango de valores históricos. Así para cada año la variación porcentual es diferente, asemejándose al verdadero comportamiento de este indicador.

Según el Departamento Administrativo de Planeación de la alcaldía de Santiago de Cali, el PIB per cápita en el 2010 fue de \$10.465.346 de pesos y el Banco de la República asegura que desde el año 2000 la variación porcentual anual del PIB se ha encontrado entre 0.21% y 5.32% siendo estos el valor mínimo y máximo, respectivamente.

La variable **consumo** se refiere al porcentaje de dinero que en promedio gastan los caleños en vehículos nuevos, para tener en cuenta este porcentaje se realizó el promedio de consumo de automóviles, que según el centro de estudios culturales es cercano al 3,32% sin muchas variaciones desde el año 2005, por ello se consideró como un valor constante. Consumo es entonces el producto del PIB per cápita y ese porcentaje.

Por otra parte, se tiene la variable **precio**. Aunque el precio de los vehículos ha estado disminuyendo en los últimos años, la variación de los precios de todos los automotores en el mercado es amplia, por esto se optó por tomar un promedio aleatorio que comprendiera el valor máximo y mínimo de los vehículos más vendidos en Colombia, la compañía de automóviles que tiene una mayor participación en el mercado es Chevrolet con un porcentaje de participación cercano al 30%, mientras que Volkswagen y la compañía International son las que cuentan con una menor participación de mercado, con un 2% y un 1% aproximadamente [9]. Los modelos más vendidos por la marca Chevrolet son: Spark, Aveo, Lux Dmax y Captiva [10].

Es claro que el crecimiento de la **población** influye en la cantidad de vehículos, la proyección

realizada por la alcaldía de Santiago de Cali fue utilizada en esta simulación, a partir de estimaciones realizadas por el DANE, teniendo como referencia el censo realizado en el 2005.

Otra de las variables principales que influye en la cantidad de vehículos es la **obsolescencia**, esta a su vez está relacionada con el **deterioro de los vehículos** en circulación, el cual es un factor relevante en la formulación del modelo; el deterioro es en parte generado por la mala condición de las vías en la ciudad de Cali. Para evaluar el estado de las vías, se tomó como indicador el **Índice de Condición de Pavimentos** (PCI por sus siglas en inglés). Este índice mide de forma superficial el estado de las vías y las clasifica según la puntuación obtenida en una muestra de vías de carretera.

El diagnóstico de las vías está asociado al estado de condición de cada una, medido con el Índice de Condición de Pavimento así:

- $PCI \leq 25$ Vías en mal estado
- $26 \leq PCI \leq 55$ Vías en regular estado
- $PCI \geq 56$ Vías en buen estado

Para la ciudad de Cali el estado de las vías actualmente es [11]:

- Buen estado 2 %
- Regular 76 %
- Malo 22 %

Buen estado: Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero creando poca incomodidad.

Regular: Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

Malo: Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

Según lo anterior, se asume que las carreteras en buen estado no ocasionan salidas de circulación de vehículos u obsolescencia alguna.

Los daños están asociados entonces a las vías en estado regular y malo, en diferente medida. Para proyectar el PCI se tomó en cuenta que las carreteras en estado regular y malo siempre representarían el 95% de las vías, debido a que en los próximos años se terminan proyectos de infraestructura vial que sin duda aumentarán los tramos de carretera en buen estado.

Por otro lado se tiene que el **deterioro** de las carreteras está directamente relacionado con su utilización, se relacionó la variable con el Índice de Condición de Pavimentos y el número de vehículos en circulación, asumiendo que cuando un vehículo transita por una vía deteriorada, éste también se deteriorará.

Otro factor que determina la obsolescencia de los vehículos es el final de la **vida útil** que para la simulación se tomó como 20 años, ya que según el Acuerdo 161 de 2009, los vehículos con más de 20 años de circulación, serán chatarrizados [12].

Adicionalmente, está la influencia de la **pérdida total** de vehículos, la cual influye negativamente en el número de vehículos y es causada principalmente por los accidentes de tránsito, que generan congestión en las carreteras impidiendo el flujo normal de automóviles incrementando su represión y número en lugares puntuales. Para el modelo se tomó en cuenta el **índice de accidentalidad** como un valor aleatorio entre el índice de accidentalidad mínimo y máximo registrados desde el año 2004 hasta el año 2010, el valor mínimo es de 4,37% y el máximo es de 5,22%, según los datos presentados por un informe de la alcaldía de Santiago de Cali, denominado “Cali en cifras 2011”.

De los accidentes que ocurren, existen algunos en los que los vehículos son destruidos por completo, impidiendo su utilización posterior, para tener en cuenta esta clase de situaciones en el modelo, se implementó una **tasa de pérdida total** del 0,06%, dato que corresponde al año 2010, punto de partida para la simulación. Esta información fue tomada del informe “Cali en cifras 2011” presentado por la alcaldía de la ciudad referente a la accidentalidad.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Después de haber realizado la simulación del modelo de movilidad que relaciona las variables antes mencionadas, fue posible obtener el siguiente resultado:

Por simple “intuición”, por denominarlo de esa manera, las personas tienden a pensar que la cantidad de vehículos en circulación aumenta año tras año, pues bien, mediante esta simulación fue posible determinar que el número de vehículos del parque automotor en la ciudad de Cali aumenta con el paso de los años, este comportamiento se puede apreciar en la figura 4.

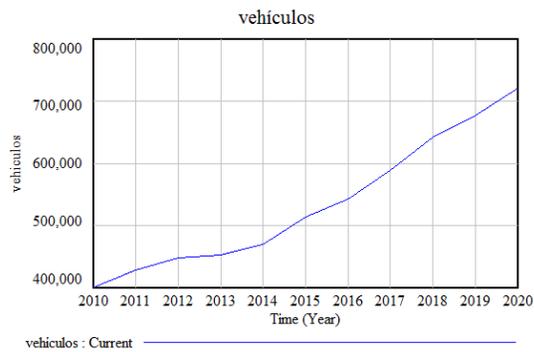


Figura 4. Gráfica vehículos contra tiempo

Para el año 2020 se estima que el crecimiento en el número de vehículos en circulación sea del 80%; este crecimiento se debe en parte al crecimiento de la compra de vehículos por parte de las personas, ya que la compra de vehículos se incrementa en mayor proporción que la obsolescencia y la pérdida total de los mismos. Se presentan gráficos donde se podrá observar los resultados de los 10 años de simulación.

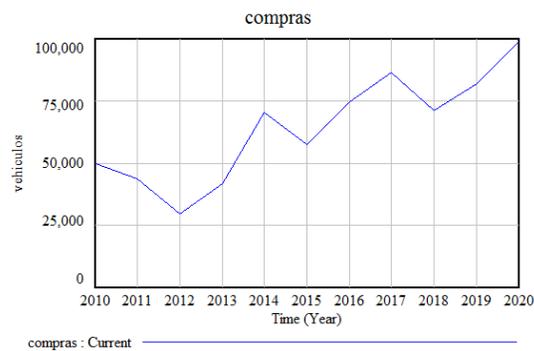


Figura 5. Gráfica compras contra tiempo

El número de vehículos estimado tendrá un incremento del 99%. Como se observa en la figura 5.

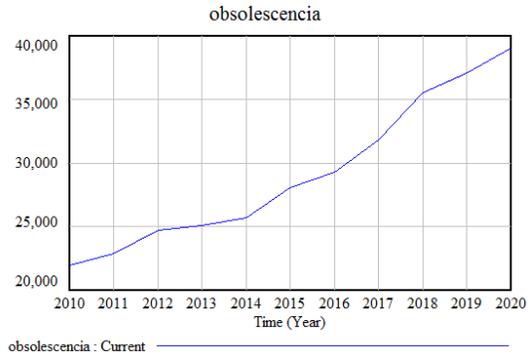


Figura 6. Gráfica obsolescencia contra tiempo

El nivel de obsolescencia de vehículos para el año 2020 se estima en 39.048,1 vehículos, apreciable en la figura 6 y el número de vehículos considerados como pérdida total para ese mismo año se estiman en 557.688 en la figura 7.

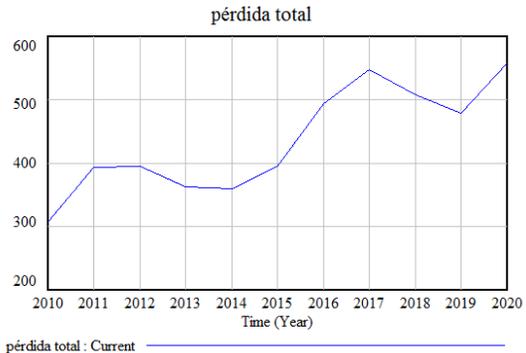


Figura 7. Gráfica pérdida total contra tiempo

Es importante aclarar que el modelo tiene en cuenta la influencia de la puesta en marcha del sistema de transporte masivo (Masivo Integrado de Occidente), porque este sistema de transporte comenzó a operar desde el 15 de noviembre del año 2008, en fase de prueba y a partir del primero de marzo de 2009 empezó a operar en firme. Además la variable del transporte público se comporta de manera constante en el tiempo, ya que el flujo debe ser el mismo, las rutas no cambian frecuentemente al igual que el número de buses operando [13].

De igual manera, las restricciones vehiculares como el pico y placa, son tenidas en cuenta, ya que estas lo único que ocasionan es un desplazamiento de la carga, por lo que el comportamiento general de la variable “número de vehículos” se asemejaría al de la simulación.

Con el fin de analizar el impacto que genera el incremento del parque automotor de la ciudad en cuanto a los problemas de congestión vehicular, se considera la variación de la malla vial de la ciudad

en los últimos años y su impacto futuro en la congestión vehicular. La tabla 3 muestra los datos concernientes a la malla vial de la ciudad de Cali.

Tabla 3. Densidad vehicular años 2010 - 2020.

Año	vehículos	malla vial	vehículos/km
2010	400754,00	2403,0	166,77
2011	428426,91	2418,6	177,14
2012	448868,09	2434,2	184,40
2013	453398,34	2449,8	185,08
2014	469679,31	2465,4	190,51
2015	514231,34	2481,0	207,27
2016	543241,94	2496,6	217,59
2017	588045,13	2512,2	234,08
2018	642062,75	2527,8	254,00
2019	677011,50	2543,4	266,18
2020	721479,50	2559,0	281,94

Un indicador de congestión considerado para este trabajo, está definido como el número de vehículos por kilómetro de malla vial, el cual refleja la densidad de vehículos que circulan por las vías de la ciudad, los resultados encontrados están consolidados en la tabla 3.

El crecimiento de la malla vial esperado para los próximos 10 años es de 6,49% según los datos de la Secretaría de Infraestructura y Valorización, mientras que el crecimiento del parque automotor para los mismos 10 años se estima en 80.03%, considerando los resultados obtenidos en la simulación. De esta manera, se puede ver que el crecimiento de los vehículos es del 69% en relación con la malla vial. Por lo tanto, la congestión vehicular va incrementarse en los próximos 10 años.

6. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, es fácil notar que en un futuro los problemas de movilidad serán mayores, debido a que, para que la malla vial sea capaz de soportar el flujo tendrá que tener un crecimiento muy acelerado, lo cual es difícil en ciudades donde no se tiene presupuesto suficiente para desarrollo de infraestructura. Así que claramente, el crecimiento de la malla vial no es la solución para una mejor movilidad.

La accidentalidad, además de ser una de las variables usadas para indicar el número de

vehículos que salen de circulación, tiene también contribución en el problema de la movilidad, ya que al ocurrir un accidente, el tráfico se verá perjudicado.

Es evidente que las medidas tomadas para mejorar la congestión vehicular como el Pico y Placa y la puesta en marcha del SITM (Sistema Integrado de Transporte Masivo), no afecta directamente la cantidad de vehículos en circulación, sólo produce una distribución de la carga que es visible a corto plazo, más no ataca el problema en la raíz. Pues como se demostró en el modelo, la cantidad de vehículos seguirá aumentando en el tiempo, haciendo que cada vez, estas medidas se vuelvan más ineficientes.

El modelo muestra que el número de vehículos comprados por ingresos propios, corresponde en el 2012 al 40% aproximadamente y que a través de los años irá disminuyendo el porcentaje de vehículos comprados por medio de ingresos propios, incrementando el porcentaje de vehículos comprados a crédito a un 85%, lo que evidencia que una variable relevante a la hora de adquirir un automotor, es la facilidad de financiación por parte de los bancos. Concluimos gracias a esto que ésta podría ser en el futuro, una variable en la que se puede enfocar esfuerzos para controlar el número de vehículos que entran en circulación.

7. REFERENCIAS

- [1] Cali en Cifras 2011. Publicado y editado por el Departamento Administrativo de Planeación. Santiago de Cali, Colombia. Enero de 2012.
- [2] Municipio Santiago de Cali. Informe accidentalidad 2011. Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal. Área de Educación y Cultura. Oficina de Estadística.
- [3] Alcaldía de Santiago de Cali. Decreto 411.0.20.1241 Diciembre 30 de 2011.
- [4] Ángel Ramírez A.J. Causas de la congestión vehicular y estrategias para abatirla. Trabajo de grado. Universidad de las Américas, Puebla, México, 6 de Mayo de 2005.
- [5] Ing. C. Jaramillo Molina, Ing. P.A. Ríos Rivera e Ing. A.R Ortiz Lasprilla [Universidad del Valle, Cali, Colombia], “Incremento del parque automotor y su influencia en la congestión de las principales ciudades colombianas”, 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo, Uruguay, 3 al 7 de Abril de 2009

[6] Industria automotriz. Perfil Sectorial. PROEXPORT COLOMBIA. Vicepresidencia de Inversión – Inteligencia de Mercados Inversión Junio de 2011.

[7] Cámara Automotriz, Información General; <http://www.andi.com.co/pages/comun/infogeneral.aspx?Id=76&Tipo=2>, (Consultado en Noviembre de 2012).

[8] D.I. Niño, Colombia: Coyuntura local y expectativas del sector vehículos. Abril del 2012

[9] Industria automotriz en Colombia. PROEXPORT COLOMBIA. 2012.

[10] Excelente año para ventas de autos. Colprensa, Bogotá D.C. 19 de enero de 2012

[11] Alcaldía de Santiago de Cali. Plan de desarrollo 2008-2011. “Para vivir la vida dignamente”. Febrero de 2008.

[12] Concejo de Bogotá, D.C. Proyecto de acuerdo n°. 161 de 2009. Artículo 2. Restricción y Chatarrización de vehículos particulares.

[13] Metro Cali S.A. Informe del plan de movilidad del SITM-MIO. Santiago de Cali, Colombia. Noviembre de 2009.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



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



[Avanzado](#)



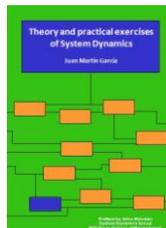
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



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



[English](#)



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



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)