

**PROPUESTA PARA GENERAR POLÍTICAS ORIENTADAS A MITIGAR
LA CONGESTIÓN DEL TRAFICO VEHICULAR DEL CENTRO
DE LA CIUDAD DE DUITAMA**

DIEGO ANDRÉS CARREÑO DUEÑAS

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS EN SISTEMAS LOGÍSTICOS
CHÍA 2011**

**PROPUESTA PARA GENERAR POLÍTICAS ORIENTADAS A MITIGAR
LA CONGESTIÓN DEL TRAFICO VEHICULAR DEL CENTRO
DE LA CIUDAD DE DUITAMA**

DIEGO ANDRÉS CARREÑO DUEÑAS

Informe final proyecto de grado

Director:

LEONARDO GONZÁLEZ

Ingeniero Industrial

Magister en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS EN SISTEMAS LOGÍSTICOS
CHÍA 2011**

Nota de Aceptación

**Firma presidente de Jurado
Clementina Cueto Vigil**

**Firma Jurado
Dusko Kalenatic**

**Firma Jurado
Edgar Gutiérrez**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1. MARCO DE REFERENCIA	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. VARIABLES RELACIONADAS	17
4.1. Dependientes	17
4.2. Independientes	17
5. OBJETIVOS	19
6. HIPÓTESIS	20
7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	21
8. LIMITACIONES	23
9. SUPUESTOS	23
10. METODOLOGÍA	24
11. DESARROLLO DEL PROYECTO	26
11.1. Identificación de los componentes relevantes y las interacciones entre ellos bajo la metodología de la dinámica de sistemas.	26
11.2. Verbalización del Sistema.	28
11.3. Conceptualización Sistémica	28
11.4. Descripción de las Variables para modelar el sistema	31
11.4.1. Vehículos públicos Urbanos	31
11.4.2. Vehículos Públicos Intermunicipales	33
11.4.3. Vehículos de Servicio Privado o Particular	33
11.4.4. Factor de Congestión	35
11.4.5. Capacidad de las Vías.	36
11.4.6. Población del Municipio	38
11.4.7. Capacidad permitida de vehículos estacionados	38
11.4.8. Porcentaje de vehículos públicos urbanos por el centro	39
11.4.9. Porcentaje de vehículos intermunicipales por el centro	39
11.4.10. Restricción de Estacionamiento	39
11.4.11. Pico y placa para vehículos privados	39
12. IDENTIFICAR LA NECESIDAD DE ANÁLISIS ADICIONALES	40
13. FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL MODELO.	41
14. PRUEBAS DE VALIDACIÓN	43

14.1. Prueba de Estructura	44
14.2. Prueba Orientada a los parámetros del modelo	45
14.3. Prueba de Suficiencia de fronteras	46
14.4. Prueba de Condiciones extremas	46
14.5. Prueba de Comportamiento	49
14.6. Prueba de Comportamiento de predicción	50
15. ANÁLISIS DE POLÍTICAS Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS	51
15.1. Identificación de Variables	51
15.1.1. Restricción de urbanos por el centro	51
15.1.2. Restricción de Intermunicipales por el centro	54
15.1.3. Pico y Placa	55
15.1.4. Restricción de Estacionamiento	58
15.2. Relacionar Variables y Políticas	61
15.2.1. Escenario 1.	61
15.2.2. Escenario 2.	61
15.2.3. Escenario 3.	61
15.2.4. Escenario 4.	62
15.2.5. Escenario 5	62
16. DISEÑO EXPERIMENTAL	63
17. ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES	67
18. CONCLUSIONES	71
19. BIBLIOGRAFÍA	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Localización general del municipio de Duitama	10
Figura 2: Diagrama Causal Elaborado en Vensim PLE	28
Figura 3: Diagrama 1 de realimentación negativa	29
Figura 4: Diagrama 2 de realimentación negativa	29
Figura 5: Mapa zona centro de Duitama	36
Figura 6: Diagrama de Forrester Elaborado en Vensim PLE	42
Figura 7: Valores de los parámetros de flujo del modelo	45
Figura 8: Diagrama de Forrester en condiciones extremas	46
Figura 9: Variable congestión en condiciones extremas mínimos	46
Figura 10: Diagrama de Forrester en condiciones extremas máximos	47
Figura 11: Variable congestión en condiciones extremas máximos	47
Figura 12: Variable congestión con valores actuales	48
Figura 13: Variable congestión Vs. Vehículos privados	50
Figura 14: Comparación congestión actual y restricción de urbanos	53
Figura 15: Comparación congestión actual y pico y placa particulares	56
Figura 16: Comparación congestión actual y restricción de estacionamiento	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Numero de empresas, de vehículos y rutas urbanas de Duitama.	31
Tabla 2: Vehículos despachados por ruta y por empresa	31
Tabla 3: Numero de vehículos públicos aforados por hora	32
Tabla 4: Vehículos despachados desde el terminal de Duitama	32
Tabla 5: Vehículos matriculados en Duitama en los últimos nueve años	33
Tabla 6: Vehículos privado aforados en intersecciones del centro de Duitama	33
Tabla 7: Población actual y proyectada del municipio de Duitama	37
Tabla 8: Datos comparativos congestión y restricción de urbanos por el centro	51
Tabla 9: Datos comparativos de congestión y restricción del 50%	51
Tabla 10: Datos comparativos de congestión y eliminación de urbanos centro	52
Tabla 11: Datos consolidados de congestión con restricción de urbanos centro	52
Tabla 12: Datos comparativos de congestión y eliminación de intermunicipales	54
Tabla 13: Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 10%	54
Tabla 14: Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 30%	55
Tabla 15: Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 100%	55
Tabla 16: Datos consolidados de la variable congestión.	56
Tabla 17: Datos comparativos de congestión y restricción de estacionamiento	57
Tabla 18: Datos comparativos congestión y restricción de estacionamiento 60%	58
Tabla 19: Datos comparativos congestión y restricción de estacionamiento 100%	58
Tabla 20: Datos consolidados congestión y restricción de estacionamiento	59
Tabla 21: Datos consolidados de políticas y niveles de restricción	62
Tabla 22: Combinación de políticas y niveles de restricción	63
Tabla 23: Datos comparativos de la variable congestión con el tratamiento uno	63
Tabla 24: Datos comparativos de la variable congestión con distintos tratamientos	63
Tabla 25: Datos tratamiento 16 con el modelo proyectado a 10 años	65

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible de los sistemas de transporte urbano es un punto clave para lograr el ahorro de recursos, lograr una sociedad consciente del cuidado del medio ambiente, y orientada a las personas, para Indra y Khana (1993), la concepción de transporte urbano sostenible se compone de cuatro aspectos, la sostenibilidad económica, ambiental, social y los medios de transporte. Entre tanto para Jaramillo (2005), la importancia del transporte radica no sólo en los servicios que presta, sino también en la influencia sobre las actividades económicas. Para las ciudades en particular, la provisión de transporte y sus infraestructuras tienen una influencia significativa en la atracción de la industria, el reasentamiento de las personas y la disponibilidad de mano de obra.

Para Abbas y Bell (1994). Los sistemas de transporte urbano son sistemas complejos con múltiples variables y bucles de retroalimentación no lineal, los cuales pueden estar influenciados por aspectos como: los medios de transporte, aspectos sociales, económicos y factores ambientales, dado lo anterior, ésta integración dinámica, dificulta el análisis de sus interrelaciones, evidenciando la carencia que tienen los métodos convencionales para modelar, interpretar y analizar, éstos sistemas de transporte y para integrar todas las variables con el fin de evaluar su desempeño.

En el acuerdo 012 (2002) Plan de ordenamiento territorial. El municipio de Duitama está ubicado al norte de Bogotá, de tradición económica basada en el transporte terrestre de carga y de pasajeros, ha enfrentado en los últimos años un desequilibrio entre el parque automotor, y la capacidad de las vías, ocasionando una constante disminución en la velocidad de circulación de los vehículos en las vías del centro de la ciudad, con un recrudecimiento en horas pico; a la situación anterior se le suman varios factores que aparentemente pueden agravar la situación, como el hecho de tener el terminal de pasajeros en inmediaciones del centro, la falta de control en el estacionamiento de los vehículos, la inexistencia de políticas restrictivas del tránsito vehicular y la falta de planeación urbana entre otros aspectos.

Dado lo anterior y entendiendo que la dinámica de sistemas, es una metodología que se aplica para el estudiar el comportamiento de diversos sistemas reales, utilizando modelos desarrollados con software especializado, los cuales una vez son simulados ponen de manifiesto las relaciones, entre la estructura del sistema y su comportamiento Aracil (1997). La DS Permite la construcción de modelos de diferentes sistemas que son susceptibles de ser simulados utilizando aplicaciones computacionales.

Esta técnica debido a su gran capacidad descriptiva, se ha utilizado para analizar y representar distintos tipos de problemas, en diferentes áreas del conocimiento, sin embargo; dentro de los sistemas que se han representado o aquellos que se han estudiado, bajo este enfoque, en América latina no se han encontrado estudios sobre análisis de sistemas de transporte urbano, analizados con dinámica de sistemas.

Si bien es cierto se han hecho estudios con simulación discreta y existe una gran cantidad de software especializado en analizar los sistemas de transporte urbano, éstos se enfocan, a la capacidad de las vías, a la programación de los tiempos de los semáforos, y a lo referente con políticas restrictivas del tráfico entre otros Robles y Nañez (2009), la particularidad de dichos estudios es, que se centran en solucionar problemas específicos de tránsito, sin analizar todo el sistema y la influencia de sus elementos en el comportamiento global, atacando los síntomas y no las causas¹; de esta manera un enfoque cuantitativo lineal no sería apropiado para describir las características de un sistema de transporte vehicular urbano, debido al gran número de factores que lo afectan y a lo heterogéneo de sus características (Población, vehículos, vías, etc.). En ese sentido la Dinámica de Sistemas analiza estructuralmente los sistemas, considerando las diferentes interrelaciones que se presentan y determinando su influencia, además permite simular en distintos escenarios, la interacción y el resultado de distintas configuraciones de las variables analizadas y como pueden influir en el comportamiento de todo el sistema.

En particular para el desarrollo del proyecto, las variables a considerar serán aquellas relacionadas con: Los medios de transporte, el número de vehículos que circulan en el municipio, la capacidad de las vías, las políticas orientadas a restringir el tráfico urbano, las rutas de vehículos públicos de transporte de pasajeros etc. Tomando como objeto de estudio el sistema de transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Duitama, restringido al sector centro, permitiendo un mejor entendimiento de las variables del sistema dado el enfoque sistémico, y así determinar cuáles son esos posibles puntos de mayor apalancamiento, que pueden lograr más beneficios con un mínimo de esfuerzo.

Reconociendo las ventajas que ofrece la Dinámica de sistemas en el análisis de sistemas complejos, el proyecto pretende desarrollar una descripción del sistema de tráfico vehicular urbano, con el fin de ofrecer, un enfoque alternativo de análisis, holístico y novedoso, para generar y evaluar, políticas orientadas al mejoramiento del tráfico para disminuir la congestión que actualmente se presenta y determinar

¹ A. Javier, G. Francisco. Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial, 1997

La conveniencia, económica, política y social, acorde con el documento 012 del año 2002² de acuerdo municipal Plan de ordenamiento territorial. Documento en el cual, se determinó la necesidad de desarrollar estudios orientados a minimizar la congestión vial vehicular en el sector centro de la ciudad de Duitama, con el propósito de mejorar los tiempos de desplazamiento, mitigar los efectos de la contaminación y generar un ambiente más agradable en la ciudad.

² Acuerdo 012 de 2002 Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Duitama.

1. MARCO DE REFERENCIA

En el acuerdo 017 de 2008 se referencia a Duitama como uno de los municipios privilegiados del departamento de Boyacá y de el país, pues su posición geográfica es estratégica como cabeza de la provincia del Tundama y parte fundamental del corredor industrial de las cuatro provincias de mayor desarrollo la de Occidente, Centro, Tundama y Sugamuxi, así como sus fortalezas de producción económica, tradiciones históricas, patrimonio cultural y natural, le han permitido proyectarse como un municipio con ventajas comparativas y competitivas territoriales a nivel regional.

Localización general del municipio de Duitama

LOCALIZACIÓN GENERAL MUNICIPIO DE DUITAMA

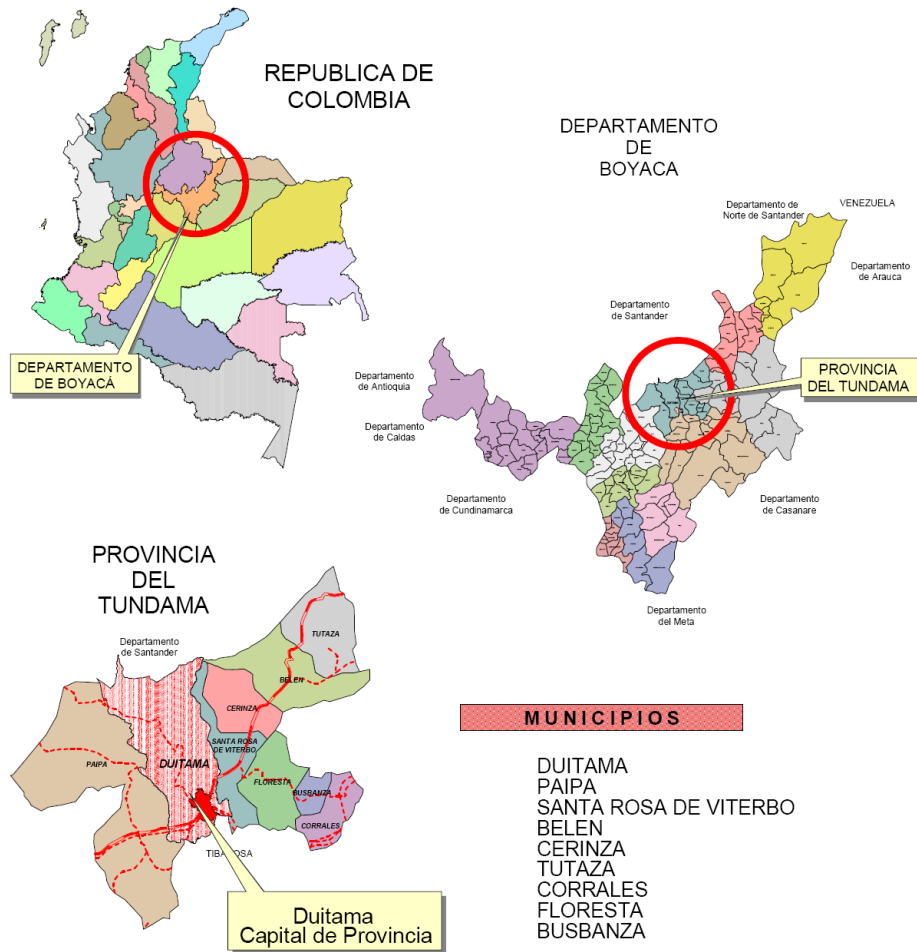


Figura 1 Fuente Acuerdo 012 de 2002 Plan de ordenamiento territorial de Duitama Oficina de planeación municipio de Duitama

Estas condiciones unidas a la cercanía con la ciudad de Bogotá le han permitido un rápido desarrollo y crecimiento urbanístico; sin embargo, la falta de planeación urbana y la reducida infraestructura vial han generado una notable disminución de la movilidad del tráfico urbano del centro de la ciudad, sumado a esto, el terminal de pasajeros se encuentra en el centro de la ciudad aumentando, considerablemente el flujo vehicular de servicio público y particular generando una notable congestión vehicular³.

Con el propósito de brindar una solución práctica, novedosa y a bajo costo al problema de congestión, el presente proyecto utiliza el enfoque que brinda la dinámica de sistemas a este problema, y para demostrar novedad en el desarrollo del proyecto apoyado en una revisión bibliográfica, se encontraron pocos estudios que relacionan la DS y los sistemas de tránsito urbano, sin embargo su enfoque se centra en el análisis de situaciones específicas en diferentes condiciones y utilizando software especializado en simulación del tráfico como el trabajo de Chaparro y Castro (2004) y el de Franco (2008), referente a la programación de semáforos inteligentes, aplicando técnicas heurísticas y algoritmos recursivos. El análisis de un sistema de tráfico bajo este enfoque permite representar casos de estudio específicos, evaluando causas y efectos, de forma lineal, pasando por alto los componentes estructurales del sistema, y sus relaciones causa-efecto, dificultando la descripción estructural del sistema objeto de estudio, en este tipo de estudios es complicado modelar el comportamiento de variables como la población o el flujo vehicular, ya que se limitan a cortos espacios de tiempo en donde se consideran constantes.

Los sistemas de transporte urbano son sistemas complejos y dinámicos⁴ a través del tiempo, que incluyen múltiples variables y bucles de retroalimentación no lineal, en el que influyen factores como, los medios de transporte, las relaciones sociales, aspectos económicos, y ambientales. Para Abbas (1994), los métodos convencionales de modelización de transporte no son adecuados para simular y evaluar su desempeño de forma global, sugiriendo un mejor análisis por medio de la DS

Según Forrester (1981), la dinámica de sistemas, originalmente llamada dinámica industrial, la cual se desarrolló en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Es una metodología de gran alcance que deriva sus raíces de la teoría de sistemas, la cibernética, la informática, la teoría organizacional, teoría de control y de Retroalimentación, juegos Militares y tácticas de toma de decisiones, su función

³ Acuerdo 017 de 2008 Plan de Desarrollo "Duitama una Ciudad Digna para Todos" periodo 2008 – 2011

⁴ Cal y Mayor, Rafael, y Cárdenas, James., Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, 8ª Ed. Alfaomega, 2006.

principal es la construcción de modelos de problemas complejos para experimentar con ellos en las computadoras, fue pionera en el uso de conceptos de sistemas y simulación por computador, para analizar problemas complejos en distintas áreas, es una metodología de amplia aplicación que se ha convertido en un atractivo estilo de modelado utilizada por diversas disciplinas⁵.

Las aplicaciones de la dinámica de sistemas cubren un amplio espectro de diferentes campos, disciplinas y temas, estas incluyen aplicaciones en defensa, desarrollo urbano y rural, empresas, banca, industria, economía, finanzas, fabricación, biología, educación, salud, medicina, ingeniería odontología, silvicultura, pesca, energía, medio ambiente, el transporte, la psicología y varios otros⁶.

⁵ A Abbas Khaled The use of System Dynamics in modeling transportation systems Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 28, Issue 5, September 1994, Pages 373-390.

⁶ Ibid.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Duitama es conocido a nivel nacional como el puerto terrestre de Colombia, debido a su gran tradición en el transporte terrestre de carga y de pasajeros, esta condición hace que se concentren en un limitado espacio vial un considerable número de vehículos, esto unido a la falta de estudios técnicos para analizar el tráfico⁷ y la falta de una planeación urbanística, ha generado una disminución en la capacidad de la infraestructura vial, ocasionando una generalizada congestión vehicular, cuyo punto más evidente es el centro del municipio.

Según el Plan de desarrollo⁸, existen más de 3000 vehículos de carga, 1200 de transporte intermunicipal y 450 taxis, por otra parte es de considerar que el terminal de pasajeros se encuentra ubicado en el centro de Duitama, como en la gran mayoría de municipios de Boyacá, en donde se concentran oficinas públicas y privadas, colegios, bancos y el comercio en general, y a solo dos cuadras del terminal de pasajeros se encuentra la antigua estación del tren un espacio en donde se han agrupado más de 300 talleres de mantenimiento y reparación de vehículos de todo tipo especialmente de carga.

En el Artículo 67 del Plan de Ordenamiento Territorial, se han definido planes viales que buscan minimizar la congestión vial existente en el casco central de Duitama y para ello en el plan de desarrollo se ha propuesto la realización de estudios técnicos que permitan, hacer un análisis del estado actual, con el objeto de diseñar alternativas orientadas a mitigar la congestión del tráfico vehicular, sin embargo en los archivos municipales no se encuentran registros de este tipo de estudios o hasta la fecha aun no se han desarrollado.

Dado lo anterior y considerando la situación actual del municipio, en lo referente al tráfico vehicular urbano y aprovechando las características que brinda la Dinámica de sistemas, el proyecto desarrolló una representación sistémica, hasta ahora inexistente, de la situación actual del sistema de transporte del municipio, esta herramienta, sirvió para entender el sistema de transporte vehicular urbano del sector centro del municipio de Duitama y permitió diseñar y evaluar distintas políticas restrictivas del tráfico urbano orientadas a disminuir la congestión que se presenta actualmente en el centro del municipio.

⁷ Acuerdo 012 de 2002 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama.

⁸ Acuerdo 017 de 2008 Plan de Desarrollo "Duitama una Ciudad Digna para Todos" periodo 2008 – 2011

3. JUSTIFICACIÓN

La dinámica de sistemas como herramienta de análisis de sistemas complejos, ha sido utilizada para estudiar diferentes tipos de sistemas, en los cuales el efecto de una o más variables, en las relaciones, solo se advierte a través del tiempo, lo que quiere decir que su influencia no tiene un comportamiento lineal⁹, esta característica, es adecuada para su aplicación en sistemas que cambian a través del tiempo, como los sistemas de transporte; sin embargo los estudios que se han encontrado en dinámica de sistemas, cuyo objeto de estudio son los sistemas de transporte, se enfocan en estudiar impactos ambientales como el presentado por Han y Hayashi (2008), o sobre la evaluación de políticas para regular el tráfico de distintos tipos de vehículos Franco (2008) e Indra y Khana (1993), estos estudios muestran cómo, la dinámica de sistemas se utiliza para describir una situación actual, en referencia a sistemas de transporte, ya sea urbano o entre ciudades, sin embargo, los casos de estudio se remiten a China y Europa, sin encontrarse casos de estudio en Suramérica o en Colombia. En ese sentido el desarrollo del proyecto brindó un aporte metodológico y conceptual que es significativo y novedoso desde el punto de vista académico y social.

Desde el punto de vista académico, el aporte lo constituyen dos componentes: La metodología utilizada, para la descripción sistémica, del tráfico vehicular urbano del centro de Duitama, debido a que, actualmente en los archivos municipales no hay evidencia de estudios similares y producto de esta descripción, el modelo, el cual es una herramienta que permite entender y comprender la interacción de las distintas variables que influyen, en el comportamiento del sistema, además permite evaluar cambios en el comportamiento del modelo, ante distintos escenarios que se generan, luego de implementar políticas restrictivas del tráfico vehicular, orientadas a mitigar la congestión del centro de la ciudad.

Conociendo la situación actual de movilidad del tráfico del municipio de Duitama, se percibe la viabilidad y pertinencia del proyecto, debido a que no existe una descripción sistémica, que permita entender la interacción de los distintos componentes del tráfico urbano del centro de la ciudad, los cuales pueden o no, afectar su comportamiento, y la forma en la cual, ante distintas políticas restrictivas se ayuda a mitigar la congestión vehicular, utilizando como herramienta de análisis, un modelo basado en dinámica de sistemas ofreciendo de esta manera, un enfoque alternativo y novedoso.

⁹ Ibid

En ese sentido, el conocimiento adquirido en las aulas y las habilidades de investigación se manifiestan en la sociedad, al proponer una alternativa orientada a mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio de Duitama, que en este caso es mitigar la congestión vehicular.

4. VARIABLES RELACIONADAS

La idoneidad y conveniencia de la Dinámica de sistemas para modelar sistemas de transporte sirve a dos propósitos principales: El primero, ayudar a una mejor comprensión del sistema, y el segundo, hace referencia al uso de modelos, los cuales se utilizan en el análisis, sobre el comportamiento de las variables, luego generar condiciones ó implementar políticas, que para el caso del proyecto, conducen a mitigar el problema de la congestión; en ese sentido y con el propósito de modelar el sistema de transporte, fue necesario involucrar determinadas variables, para una correcta representación, que dan respuesta al evaluar políticas orientadas a mitigar la congestión del tráfico.

Para el desarrollo del modelo se identificaron las siguientes variables:

4.1 DEPENDIENTES

La única variable que dio respuesta a la aplicación de las distintas políticas orientadas a mitigar la congestión del tráfico, y que depende de la interacción de los demás elementos del modelo es:

- Para Box y Oppenlander (1985) y Cal y Mayor (2006), El factor de congestión desde el punto de vista macroscópico se da por la relación entre la capacidad de la vía y el número de vehículos que transitan, en ese sentido cuando el flujo vehicular excede la capacidad vial, se forman filas y su longitud podría determinar el grado de congestión.

En ese sentido las políticas se orientan a la relación entre el efecto de la entrada de vehículos y el flujo de salida a través del tiempo.

4.2 INDEPENDIENTES

Los elementos constitutivos del sistema de tráfico, o aquellos que por su relevancia se tuvieron en cuenta en la formulación y modelación del sistema son considerados variables independientes debido a que el observador tiene escasa manipulación para influir en su comportamiento, estas variables son:

- Población del municipio: Debido a que guarda estrecha relación con la demanda de servicios de transporte público y privado, los datos y registros totales se adquirieron del DANE y la secretaria de transito y transporte.

- Número de vehículos: que se encuentran matriculados en la secretaria de tránsito del municipio, esta información, se obtiene de la secretaria de tránsito del municipio.
- Dado que el sistema de tráfico es dinámico a través del tiempo, el tiempo se considera como una variable ya que el comportamiento de los elementos del sistema cambian en función de este.
- Delimitación geográfica del centro de la ciudad¹⁰: Determina las vías que se van a considerar para el cálculo de la capacidad vial.
- Tasa de llegadas de vehículos: Para medir el flujo de vehículos hacia el centro de la ciudad se determinaron los puntos más representativos de entrada de vehículos, la información se obtuvo del informe de gestión de la secretaria de tránsito del municipio. Esta variable es posible manipularla de acuerdo al diseño de una política que restrinja el tráfico de vehículos por las vías del centro.
- Capacidad de las vías, Definida como: el número de vehículos que pueden usar un tramo vial en un periodo de tiempo determinado Cal y Mayor (2006) esta capacidad, se establece según la metodología expuesta por Box y Openlander (1985) y Highway capacity Manual (2000). Dado que la capacidad depende de factores como la programación de los semáforos, los vehículos estacionados, los paraderos etc. es posible manipularla con políticas de restricción al estacionamiento de vehículos y a la reorganización de rutas de transporte público urbano de pasajeros.
- Oferta de estacionamientos en el centro de Duitama: Se considero esta variable por que según Diaz y Mojica (2001), los vehículos estacionados en una vía de dos carriles (en su mayoría las del centro de Duitama) se puede reducir la capacidad de un tramo vial hasta en un 50%.
- Políticas restrictivas del tránsito se basaron en los estudios de Abbas (1994) y Ji Han (2008), Estas políticas están orientadas a restringir el tránsito y parqueo de vehículos en las vías del centro, con el objeto de reducir la congestión y mejorar la movilidad de los vehículos que transitan por el centro de la ciudad.

De ese modo las variables manipulables, son aquellas en donde se orientaron el impacto de las políticas para restringir el tráfico vehicular, estas variables son: La oferta de estacionamientos, Los flujos de entrada de vehículos al centro y un pico y placa para los vehículos particulares.

¹⁰ Acuerdo 012 de 2002 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Medir el impacto de distintas políticas restrictivas del tráfico urbano, para mitigar la congestión vehicular que se presenta en el sector centro del municipio de Duitama, utilizando como herramienta de experimentación un modelo basado en dinámica de sistemas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el sistema de transporte vehicular urbano de pasajeros del centro de Duitama en función de sus componentes y sus interacciones para lograr una representación bajo el enfoque de dinámica de sistemas.
- Caracterizar la estructura sistémica del sistema de transporte vehicular urbano de pasajeros del centro de Duitama, identificando arquetipos y bucles de realimentación.
- Diseñar políticas restrictivas de control de tráfico urbano de pasajeros del centro de Duitama en función de la variable dependiente, analizando su viabilidad.
- Generar recomendaciones de acuerdo al comportamiento observado de la variable dependiente luego de evaluar distintas políticas restrictivas del tráfico vehicular del centro de Duitama.

6. HIPÓTESIS

Con el diseño y aplicación de políticas orientadas a restringir el tráfico vehicular urbano del centro de Duitama, luego de ser analizadas con un modelo basado en dinámica de sistemas, que represente el sistema del tráfico urbano; es posible disminuir la congestión vehicular que se presenta actualmente en las vías del centro del municipio de Duitama en al menos un 5%.

7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de las políticas orientadas a mitigar la congestión vehicular, serán producto de dos aspectos, en primer lugar, las experiencias anteriores documentadas en la secretaria de tránsito y en segundo lugar la conveniencia e idoneidad en términos económicos y sociales, por otra parte el impacto de la implementación de las políticas sobre la variable de respuesta se analizó en el modelo, el cual es diseñado tomando como referencia del centro de la ciudad de Duitama, cuyo perímetro es delimitado por el POT¹¹.

Finalmente producto de la experimentación de las políticas se sugiere a la administración municipal el análisis de políticas, basadas en los resultados obtenidos, en ese sentido la adopción y/o implementación de la política queda en responsabilidad de la administración municipal quien la evaluará en términos económicos y sociales, por tanto el trabajo es solamente una herramienta de análisis para encontrar posibles soluciones en términos cuantitativos basados en la variable de respuesta, conducentes a mitigar la congestión del tráfico.

¹¹ Acuerdo 012 de 2002 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama.

8. LIMITACIONES

- El diseño de las políticas orientadas a restringir el tráfico de vehículos en el centro de la ciudad, está sujeto a condiciones, legales según el código de tránsito, condiciones sociales y económicas determinadas por la administración municipal.
- La disposición por parte de los funcionarios de algunas de las instituciones públicas para suministrar la información relevante para el proyecto en algunos casos no fue eficiente ni oportuna.
- En la validación del modelo, ya que siempre va a existir una diferencia al ajustarlo con la realidad.
- El tiempo en la recolección, clasificación y análisis de la información relevante para el proyecto.
- Las fuentes de información son secundarias, en lo relacionado con los aforos, dimensiones de las vías y oferta de estacionamiento.

9. SUPUESTOS

Aunque existen otros enfoques de análisis, con un modelo basado en Dinámica de sistemas es posible, lograr una representación válida del sistema de transporte urbano del centro de Duitama, para entender y analizar estructuralmente el comportamiento de los distintos elementos que lo constituyen.

Un modelo del sistema de transporte de la ciudad de Duitama basado en dinámica de sistemas, permite analizar la situación actual del tráfico vehicular urbano, y evaluar el comportamiento de la variable dependiente ante distintas políticas restrictivas del tráfico, para lograr minimizar la congestión vial que se presenta en el centro de la ciudad de Duitama.

10. METODOLOGÍA

El tipo de estudio es exploratorio por el trabajo de campo en la recolección de la información y descriptivo por que busca caracterizar una situación que está sucediendo y finalmente, será experimental por que una vez desarrollado y validado el modelo, se experimentaran diferentes políticas para restringir el tráfico generando distintos escenarios probables, en búsqueda de la política o políticas que reduzcan la congestión vehicular.

OBJETIVO	ACTIVIDAD
<p>Describir el sistema de transporte vehicular urbano de pasajeros del centro de Duitama en función de sus componentes y sus interacciones para lograr una representación valida bajo el enfoque de dinámica de sistemas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se Identificaron los componentes relevantes y las interacciones que constituyen el sistema de tráfico urbano bajo la metodología de la dinámica de sistemas tal y como se explica en los trabajos de Abbas y Bell (1994) y Abbas (1994), Para Aracil (1997) la forma de identificar los componentes es por observación directa definida por el modelador, según lo expresado por Barlas (1996). • Se hizo una rrevisión documental en fuentes de información municipal, como estudios previos e información cartográfica para identificar las vías objeto de estudio del centro de Duitama Barlas (1996). • Según Barlas (1996) se deben definir las vías objeto de estudio y determinar los puntos de entrada de vehículos que generan el tráfico, esto se realiza según Daganzo (1997) y Jaramillo (2004). Para esta actividad se recurrió a fuentes documentales. . • La técnica de análisis de capacidad vial que se utilizó en el modelo fue la expuesta por Box y Oppenlander (1985) y Cal y Mayor (2006) . • La caracterización de la red vial, los sentidos de circulación, los tipos de control de tránsito, la ubicación de los semáforos etc se encontró en el Acuerdo 012 de 2002. Los datos sobre las característica y el flujo de vehículos, se encontraron en el Informe de gestión de la Secretaria de Transito de Duitama (2009).
<p>Caracterizar la estructura sistémica del sistema de transporte vehicular urbano de pasajeros del centro de Duitama, identificando arquetipos y bucles de realimentación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para identificar la necesidad de análisis adicionales, tales como accidentes, impactos ambientales, medios de transporte y sus características se utilizo el Highway Capacity Manual (2000), los datos recientes demográficos se obtuvieron de www.dane.gov.co • Para la formulación y planteamiento del modelo, y su posterior traducción a diagramas causal y de Forrester se desarrollo basado en los estudios de Abbas y Bell (1994), Aracil (1997), Raymond (1985) y Wang, Lu, Peng (2008). • La modelación con el software Vensim, identificando y planteando las ecuaciones que hicieron dinámico el modelo se hizo de a cuerdo a los estudios de Wang, Lu, Peng (2008) y Indra Khana (1996), una vez planteado el modelo se valida y ajusta, con el propósito de disminuir la diferencia del modelo con la realidad según los trabajos de Barlas (1996) Forester y Senge(1980) y Raymond (1980).

<p>Diseñar políticas restrictivas de control de tráfico urbano de pasajeros del centro de Duitama en función de las variables dependientes, analizando su viabilidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez validado el modelo y consultando con la secretaria de tránsito se diseñan y proponen las políticas restrictivas para el tráfico vehicular. Teniendo en cuenta los trabajos de Robles y Ñañez (2009) y Acevedo (2009), posteriormente se traduce su aplicación en el modelo y se mide el impacto de su aplicación sobre las variables dependientes caracterizadas para el modelo tomando como referencia los estudios de Abbas (1994), Wang, Lu, Peng (2008) e Indra Khana (1993).
<p>Diseñar posibles recomendaciones respecto del comportamiento de las variables dependientes del modelo ante las distintas políticas restrictivas del tráfico vehicular urbano de pasajeros del centro de Duitama</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez se haya medido el impacto de las políticas se proponen aquellas recomendaciones que logren minimizar la congestión del tráfico vehicular del centro de la ciudad de Duitama en al menos un 5% para coincidir con la hipótesis planteada.

11. DESARROLLO DEL PROYECTO

11.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES RELEVANTES Y LAS INTERACCIONES ENTRE ELLOS BAJO LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.

En la metodología encontrada en los trabajos de Barlas (1996) y Raymond (1985) para el desarrollo de estudios basados en dinámica de sistemas se hace referencia a dos conceptos fundamentales para su aplicación como herramienta de análisis de sistemas complejos; con la intención de facilitar el proceso de identificación de los componentes, que constituyen el sistema de transporte y las relaciones que existen entre ellos, a continuación se dan dos breves y generales definiciones de sistema y modelo.

En la literatura se encuentran diferentes definiciones de sistema, sin embargo para el propósito del proyecto, para Aracil (1997) un sistema es un objeto formado por un conjunto de partes, entre las que se establece alguna forma de relación que las articula en la unidad que es precisamente el sistema, de ese modo, éste se manifiesta como una percepción de la realidad definida por el observador, la misma que posee cierta complejidad determinada por la interacción de las partes que lo componen. En este sentido se dice que las partes y sus relaciones son los elementos básicos de la concepción de sistema, de tal forma que este se observa como algo que posee una identidad propia, que lo hace diferenciable de su entorno, pero sin perder algún grado de interacción con él, a pesar del tiempo y entornos en constante cambio.

Por otra parte, un modelo es el resultado de la interpretación que hace el observador de un sistema intentando su representación, es decir que para Barlas (1996), un modelo es un sujeto que representa a otro utilizando un medio distinto en el cual el sistema real se reproduce, para Forrester y Senge (1980) un modelo es también un instrumento que ayuda al observador a responder preguntas acerca de un aspecto específico de la realidad al que se conviene en considerar en un sistema concreto, existen distintos tipos de modelos desde los modelos mentales, que se usan casi instintiva e intuitivamente hasta los modelos formales, entre los cuales están los modelos de dinámica de sistemas debido a que son más explícitos que los modelos mentales, y pueden ser comunicados sin ambigüedad, por lo que las hipótesis sobre las que se realiza el modelo, son susceptibles de ser discutidas, revisadas y validadas, siendo así una herramienta útil para tomar o evaluar decisiones.

Para Forrester (1981), un modelo pretende describir cierto fenómeno o proceso, debido a esto el observador hace un ejercicio de abstracción de la realidad en donde solo incluye aquellos aspectos, que en la opinión misma del observador le resulten relevantes, sin embargo para Barlas (1996) los elementos que este incluya deben guardar una estrecha relación con el propósito del modelo, en cuyo caso el modelador acude a distintas fuentes de información que pueden ser, observaciones personales, revisiones bibliográficas, conocimiento formal, otros modelos, datos existentes etc.

En razón a lo expuesto anteriormente según Aracil (1997) y Abbas y Bell (1994), las relaciones que existen entre los vehículos, las vías y la población de una ciudad, por lo general se denomina sistema de transporte, el cual está estrechamente relacionado con su sistema socioeconómico, según Wang, Lu y Peng (2008) afecta la manera como este crece y cambia, así mismo una variación en el sistema socioeconómico afecta al sistema de transporte y viceversa, de allí radica la importancia de contar con estudios para analizar su comportamiento y proponer alternativas que ayuden a mejorar su comportamiento, en ese sentido la dinámica de sistemas se constituye en una herramienta idónea para su análisis debido a que la relación que existe entre sus elementos según Abbas y Bell (1994), no puede ser abordado desde una perspectiva lineal ya a que sus elementos están en constante interacción a través del tiempo, y según Barlas (1996), tampoco pueden ser analizados individualmente ya que el efecto, acciones o el comportamiento de unos puede y podría afectar el resto, en ese sentido la dinámica de sistemas ofrece una visión holística, y se apoya del pensamiento sistémico para considerar aspectos que no se evidencian fácilmente y se vale de modelos computacionales para representar esos sistemas, por otra parte el sistema de transporte es dinámico a través del tiempo, se tienen bucles realimentados y se pretenden probar políticas, estas características constituyen claramente la plataforma idónea para la analizar el sistema desde el punto de vista de la dinámica de sistemas.

Para Abbas y Bell (1994) y Barlas (1996), la configuración y características de los modelos basados en dinámica de sistemas siguen reglas y parámetros que deben ser considerados en su construcción, los componentes estructurales en términos generales son, flujos, niveles y variables auxiliares, en la metodología expuesta en Abbas (1994) los pasos para construir un modelo de un sistema desde el punto de vista de la dinámica de sistema se presentan a continuación.

11.2 VERBALIZACIÓN DEL SISTEMA.

Según Cal y Mayor (2006) el sistema de transporte de una ciudad principalmente lo componen las vías por donde circulan los vehículos, los vehículos que transitan y su interacción con el medio (flujos, destinos, estacionamientos etc.) y la población quien genera la demanda por medios de transporte que pueden ser públicos y/o privados, en ese sentido el sistema de transporte es un sistema abierto que intercambia constantemente información y elementos con el entorno y dinámico porque no permanece igual a través del tiempo. Sin embargo además de estos componentes existen otras variables relacionadas que los modifican; para el caso de las vías se encuentra relacionada la capacidad, definida por Box y Oppenlander (1985) como el número de vehículos que pueden usar un tramo vial en un periodo determinado, según Cal y Mayor (2006), la capacidad vial se encuentra no solo determinada por el flujo de Vehículos sino también por la programación de los semáforos, específicamente relacionado con el tiempo en verde y las intersecciones presentes en las vías, así como también la velocidad, los vehículos estacionados, y los paraderos de buses.

Otro elemento constitutivo del sistema de transporte es el correspondiente a los vehículos, los cuales son de servicio particular o privado y de servicio público, para el caso de estos últimos y dada la condición de la ubicación del terminal de pasajeros en la zona centro de la ciudad, implica una clasificación adicional para los vehículos de servicio público en, intermunicipales y urbanos. Finalmente el último componente del sistema de transporte es la población del municipio, debido a que es quien demanda servicios de transporte, para este elemento se van a relacionar las tendencias y tasas de crecimiento con el propósito de proyectar el modelo

Dados los anteriores elementos del sistema, cuando el flujo vehicular es mayor a la capacidad de las vías del centro, surgen demoras entre los usuarios de las vías, y se forman colas o líneas de espera que sobrepasan las dimensiones de las vías, en ese sentido según Cal y Mayor (2006), el tamaño de las colas va a determinar el factor de congestión dado por la relación entre la capacidad de las vías y el flujo de vehículos al centro.

11.3 CONCEPTUALIZACIÓN SISTÉMICA

Según Raymond (1985), los componentes estructurales del modelo que representan el sistema considerado desde el punto de vista de la dinámica de sistemas lo constituyen, las variables de flujo, de nivel y auxiliares y según el papel que desempeñan dentro del modelo, se describen a continuación.

Las variables de flujo corresponden a los vehículos que ingresan al centro de la ciudad, y pueden ser como se mencionó anteriormente de servicio público y particular, **la variable de nivel** que representa la acumulación de vehículos y al mismo tiempo es variable de respuesta del modelo, es la congestión vehicular, la cual depende de **variables auxiliares** como: la capacidad de las vías, que a su vez está determinada por el porcentaje de la vía ofrecida para el estacionamiento y la programación de los semáforos que reduce la capacidad vial; para propósitos del modelo y con el principal objetivo de probar distintas políticas para restringir el tráfico de vehículos se incluyen **variables auxiliares** que modifican el ingreso vehicular y el porcentaje de vehículos estacionados; por otra parte se tiene la variable de población la cual va a determinar el crecimiento del flujo vehicular por que a medida que aumenta la población va a aumentar la demanda de servicios de transporte.

El nivel de congestión genera una relación inversa al desalentar a los usuarios de transporte privado a utilizar las vías del centro cuando es alta y a incentivar su paso cuando no haya congestión.

En la **figura 2** se representa el diagrama causal correspondiente a la conceptualización sistémica la cual surge de la metodología expuesta por Abbas (1994), y corresponde al sistema de tráfico del centro del municipio. En el diagrama se pueden observar las

relaciones existentes entre los diferentes componentes del sistema de tráfico del centro del municipio, desde un punto de vista macroscópico según Box y Oppenlander (1985), en el cual se omiten detalles de minucioso análisis como, niveles de servicio de las vías, promedios de velocidad, peatones y vehículos de dos ruedas los cuales por sus dimensiones, en un análisis macroscópico no se tienen en cuenta. En el diagrama se identifican dos comportamientos que pueden ser denominados como realimentaciones negativas. La realimentación negativa anula los cambios y estabiliza los sistemas, en una realimentación negativa un aumento en una variable acaba provocando una disminución en esa variable, en el diagrama causal que representa el sistema de transporte urbano del centro de la ciudad, se observa en primera instancia en la relación dada por la congestión vehicular, la velocidad promedio y la capacidad vial.

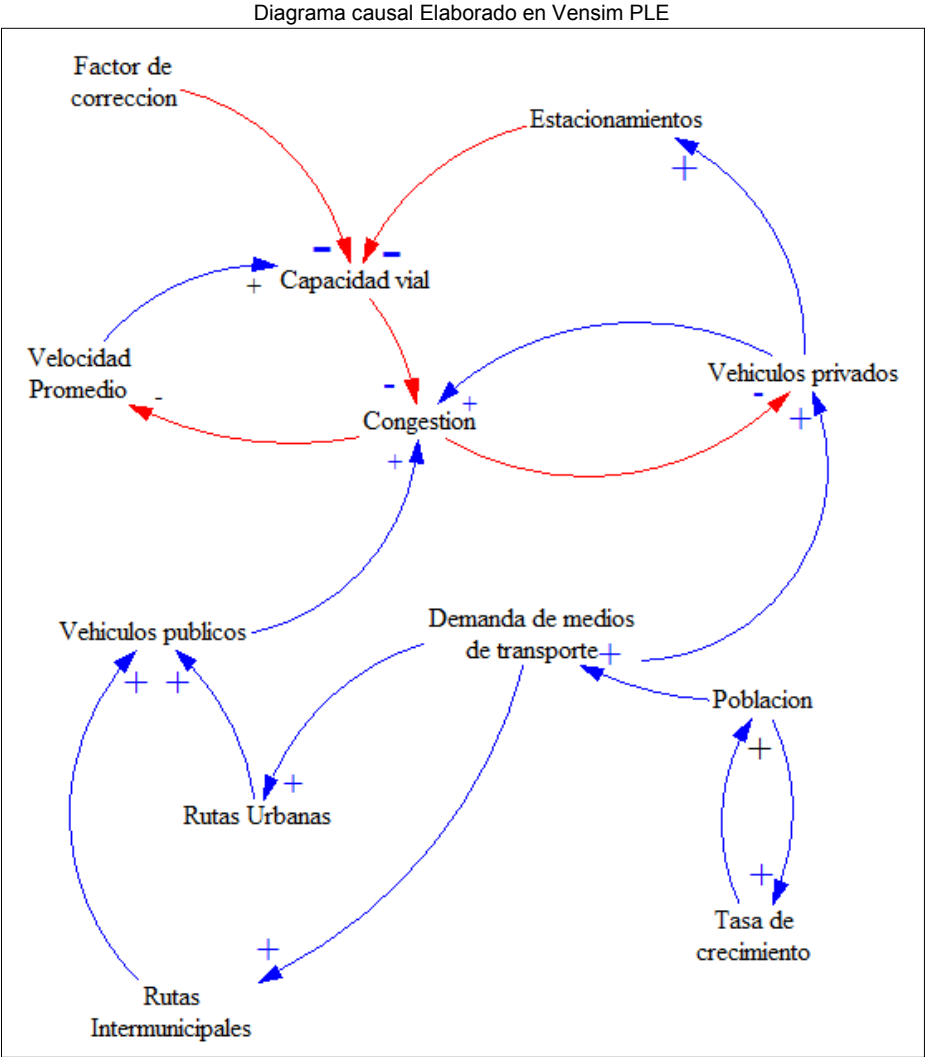


Figura 2 Fuente Elaboración propia

La **figura 3** representa la relación causal definida por Box y Oppenlander (1985), si la congestión aumenta disminuye la velocidad promedio debido a que hay un mayor número de vehículos en el mismo espacio limitando su libertad de maniobra, de la

misma manera como el cálculo de la capacidad implica una relación entre la velocidad, si hay una disminución en la velocidad promedio, habrá una disminución en la capacidad.

Diagrama 1 de realimentación Negativa Elaborado en Vensim PLE

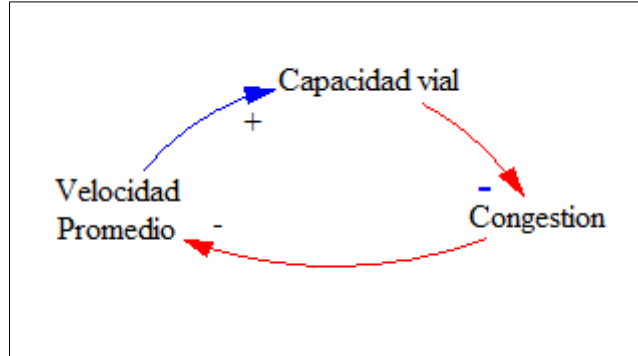


Figura 3 Fuente Elaboración propia

El segundo comportamiento se observa en la relación dada entre la congestión y el flujo de vehículos privados, ya que su libertad de escoger la ruta es completa es decir si los usuarios de vehículos privados observan que el centro esta congestionado optaran por evitar su tránsito a ese sector siempre y cuando su destino no se encuentre dentro del perímetro del centro de o se acercaran por vías alternas, lo anterior obedece a lo descrito en Box Oppenlander (1985), Cal y Mayor (2006) y Highway Capacity Manual (2000).

Diagrama 2 de realimentación Negativa Elaborado en Vensim PLE

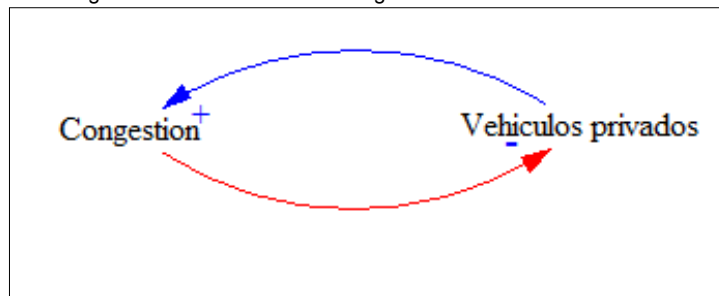


Figura 4 Fuente Elaboración propia

Las anteriores relaciones causales presentan comportamientos de realimentación negativa, lo que en términos de dinámica de sistemas, es posible traducir a un arquetipo de limite al crecimiento debido principalmente a que el sistema está limitado a la capacidad de las vías que a su vez está limitada por factores como: El flujo vehicular, el estacionamiento las intersecciones etc.

11.4 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES PARA MODELAR EL SISTEMA

Continuando con el desarrollo de la metodología para el desarrollo de proyectos basados en dinámica de sistemas descrita por Raymond (1985), se hace necesario desarrollar el diagrama causal, razón por la cual, inicialmente se hace una descripción de las variables involucradas en el modelo describiendo: origen, unidades coherencia dimensional.

Para Forrester (1981) Las variables de flujo expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles.

Para el caso del proyecto se definieron las variables de flujo como los vehículos que ingresan al centro del municipio, los cuales son: públicos y privados, a su vez los vehículos públicos se dividen en municipales e intermunicipales, y para uniformidad del modelo será el número que ingresa durante un intervalo de una hora.

11.4.1 Vehículos Públicos Urbanos¹²: La ciudad de Duitama cuenta con tres empresas de transporte legalmente autorizadas para prestar el servicio público de transporte terrestre automotor colectivo de pasajeros, este servicio tiene radio de acción Municipal y cubre la zona urbana y parte de la zona rural con veintiséis (26) rutas. Esta modalidad de servicio está regulada por el Decreto 170 de 2001 las empresas los vehículos y las rutas se presentan a continuación en la tabla 1.

Número de empresas de vehículos y rutas urbanas de Duitama

EMPRESA	NUMERO DE VEHÍCULOS	RUTAS
TRANSTUNDAMA	101	13
COOTRAHEROES	70	7
TURES	65	6
TOTAL	242	26

Tabla 1 Fuente Secretaria de transito de Duitama Informe de gestión 2009.

De acuerdo con la información suministrada por la secretaria de transito de Duitama en la tabla (2) se presenta el total de despachos de vehículos por ruta y empresa, estos datos se asocian a la variable relacionada, con el total de vehículos de servicio público de transporte urbano que transitan por las vías del centro.

Estos datos fuente se recopilaron para su evaluación y experimentación con el modelo, con el objetivo de diseñar y probar distintas políticas para restringir su tránsito.

¹² Informe de gestión 2009 secretaria de transito y transporte de Duitama.

Vehículos despachados por ruta y por empresa

EMPRESA	RUTA	VEHÍCULOS DESPACHADOS
TRANSTUNDAMA	A1	198
	A2	162
	A3	148
	A4	76
	A5	156
	A6	31
	A7	97
	A8	120
	A9	131
	A10	102
	A11	92
	A12	83
	A13	56
COTRAHEROES	B1	157
	B2	119
	B3	30
	B4	120
	B5	259
	B6	172
	B7	209
TURES	C1	90
	C2	121
	C3	159
	C5	90
	C7	109
	C8	80

Tabla 2 Fuente Secretaria de transito de Duitama Informe de gestión 2009.

En la tabla (3) se presenta el total de vehículos por intervalo horario, la siguiente información es el número de vehículos registrados o aforados en el punto de control ubicado en el terminal de transporte

Número de vehículos públicos aforados por hora

HORARIO	VEHÍCULOS	HORARIO	VEHÍCULOS
06:00 – 07:00	140	13:00 – 14:00	380
07:00 – 08:00	396	14:00 – 15:00	290
08:00 – 09:00	201	15:00 – 16:00	105
09:00 – 10:00	130	16:00 – 17:00	130
10:00 – 11:00	157	17:00 – 18:00	177
11:00 – 12:00	196	18:00 – 19:00	370
12:00 – 13:00	345	19:00 – 20:00	150

Tabla 3 Fuente Secretaria de transito de Duitama Informe de gestión 2009.

11.4.2 Vehículos Públicos Intermunicipales: Esta clasificación se realiza debido a que el terminal de transportes se encuentra en el sector centro de la ciudad, por tal motivo el ingreso de estos vehículos aumenta el flujo vehicular total.

Vehículos despachados desde el terminal de Duitama

EMPRESA	VEHÍCULOS DESPACHADOS
Cotra del Sol	0.4
Copetran	2.0
Cotracero	4.7
Cotrans	7.3
Sugamuxy	7.3
Cootradatil	9.0
Cotrasoata	14.7
Paz de Rio	21.7
Cootransval Ltda	26.7
Autoboy	49.1
Rápido Duitama	56.0
Simon Bolivar Concorde	92.1
Coflonorte Libertadores	111.4
Cotrachica	167.7
Coflotax	338.3
Total en el Día	908

Tabla 4 Fuente Documento 032 gerencia terminal de transportes Duitama 2010

Según el informe dado por la gerencia de la Empresa de Servicios públicos no domiciliarios de Duitama ESDU, actualmente en el terminal de transporte de pasajeros de la ciudad se realizan despachos de vehículos los cuales se encuentran agrupados en 15 empresas que prestan el servicio de transporte de pasajeros, en la **tabla 4** se muestra el promedio diario de vehículos despachados por cada empresa.

11.4.3 Vehículos de Servicio Privado o Particular: Con los resultados del informe proporcionado por la secretaria de transito se obtuvieron los siguientes datos, referentes al total de vehículos privados matriculados durante los últimos nueve años, presentados en la tabla (5)

Los años 2005, 2006 y 2007 se presenta un significativo aumento en la matricula de vehículos nuevos, este crecimiento se debe posiblemente al ingreso de capital proveniente de la venta de la empresa Acerías Paz del Rio, y luego regresa al comportamiento normal, según el informe aportado por la secretaria de transito de Duitama.

Vehículos matriculados en Duitama en los últimos nueve años

Año	Número de vehículos
2002	525
2003	662
2004	721
2005	1153
2006	1187
2007	1369
2008	801
2009	587
Total a 2010	9505

Tabla 5 Fuente Secretaria de transito de Duitama Informe de gestión 2009

Según el estudio realizado por la secretaria de transito se realizaron aforos en la zona centro en distintas intersecciones semaforizadas ya que son las que presentan el mayor flujo vehicular en la tabla se presenta el volumen total por intersección distribuido en cuatro intervalos horarios.

Vehículos aforados en distintas intersecciones del centro de Duitama por intervalos de tiempo

INTERSECCIÓN	Vehículos 07:00–08:00	Vehículos 11:00–12:00	Vehículos 13:00–14:00	Vehículos 18:00–19:00	Totales
Cll 16 * Cra 18	1617	1761	1957	1860	7195
Cra 18 * Cll 18	894	1350	2072	1156	5472
Cra 17 * Cll 15	828	730	982	976	3516
Cra 17 * Cll 16	453	684	1050	952	3139
Cra 16 * Cll 15	1046	996	1010	826	3878
Cra 16 * Cll 14	740	790	582	942	3054
Cra 14 * Cll 14	475	561	508	408	1952
Totales	6053	6872	8161	7120	28206

Tabla 6 Fuente Secretaria de transito de Duitama Informe de gestión 2009.

Los datos presentados en la tabla 6 se utilizaron como datos de entrada para la variable vehículos privados variable que se relacionada en el modelo.

Según Aracil (1997), las variables de *nivel* suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, muchas veces asociadas a las variables de respuesta del modelo, de la misma forma es posible afirmar que los valores que toma la variable, generalmente determina la situación en la que se encuentra el sistema, para el caso del proyecto y manteniendo la coherencia del proyecto la variable de nivel del modelo y que a su vez es la variable de respuesta de este estudio es, el factor de congestión, relacionado a continuación.

11.4.4 Factor de congestión¹³: Se puede medir desde dos puntos de vista, el microscópico el cual comprende aspectos como: densidad de vehículos en un tramo vial, intervalos de vehículos que circulan, el espaciamiento entre ellos, los niveles de servicio los cuales hacen referencia a la libertad de movimientos entre carriles para los vehículos, velocidades punto y velocidades promedio.

Sin embargo modelando estos aspectos según el estudio realizado por Abbas (1994), el modelo es propenso a ser denso y no muestra la estructura del sistema, y podría alejar significativamente el objetivo de la investigación en cuyo caso, según Robles y Ñañez (2009), es más efectiva otra herramienta de modelación como la simulación discreta, razón por la cual se han desarrollado aplicaciones informáticas, específicamente diseñadas para tal fin; por otra parte desde el punto de vista macroscópico Box y Oppenlander (1985) y Cal y Mayor (2006), coinciden en que una de las formas para determinar la congestión vehicular es el tamaño de la fila de vehículos que se forma una vez que la capacidad vial es superada por el flujo de vehículos que demandan circular por las vías, en ese momento se presenta la congestión y es posible determinar su grado por el tamaño de la fila de vehículos que se ha formado, este enfoque además brinda la posibilidad de estudiar estructuralmente el sistema del tráfico urbano.

Ahora bien partiendo de este concepto, es posible asociarlo a una variable de nivel con el propósito de representarla en un diagrama de forrester, y para efectos del modelo el nivel de congestión estará determinado por el flujo de vehículos al centro del municipio y la capacidad vial asociada a las vías del centro, en cuyo caso se analizara el comportamiento dinámico en el tiempo debido al cambio en el flujo vehicular.

La definición presentada por Aracil (1997), expresa que las variables *auxiliares* son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible y fácil de entender, en el presente estudio las variables auxiliares tienen la particularidad, que con algunas de ellas es posible manipular sus valores dentro del modelo para facilitar el proceso de experimentación y para diseñar políticas, asociadas a mitigar la congestión que se presenta actualmente.

Estas variables su descripción y función dentro del modelo son presentadas a continuación.

¹³ Cal y Mayor, Rafael, y Cárdenas, James., Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, 8ª Ed. Alfaomega, 2006.

11.4.5 Capacidad de las vías¹⁴: Se va a tomar como un valor inicial constante definido por las características geométricas de las vías del centro de la ciudad, cuyo valor va a disminuir por los siguientes factores que son representados por las siguientes variables auxiliares: Vehículos estacionados, la programación de los semáforos y los paraderos de los buses los dos últimos condensados en el factor de corrección.

Si bien es cierto existen otros aspectos a tener en cuenta para el cálculo de la capacidad como las pendientes, y el uso del suelo las cuales según Díaz y Mojica (2001) no son significativas debido a que las pendientes no superan el 3 % y el uso del suelo está definido como comercial y residencial, y no se identifican zonas de uso del suelo distintas como, industrial o de instituciones educativas.

Para el cálculo de la capacidad inicialmente se determinan las vías objeto de estudio del centro de Duitama definidas en el plan de ordenamiento territorial¹⁵, ver **figura 1** centro de Duitama, el centro de Duitama está compuesto por 32 manzanas en las que se encuentran el terminal de transportes y la plaza central ver **figura 2**.

Para el cálculo de la capacidad vial y siguiendo la metodología descrita en Box y Oppenlander (1985) y Cal y Mayor (2006), inicialmente se identificó la longitud de los tramos viales del centro, sin tener en cuenta las intersecciones, dividido en la longitud promedio de los vehículos que se toma como seis metros; en el estudio desarrollado para Duitama por Díaz y Mojica (2001), se establece que el máximo de vehículos que pueden ocupar las vías del centro es de 1726.

Con el anterior resultado se procede a relacionarlo con la velocidad máxima permitida, la cual para centros urbanos y específicamente para el caso de Duitama según el Decreto 170 de 2001, el límite de velocidad es de 30 k/h utilizando la siguiente ecuación presentada por Cal y Mayor (2006).

$$Capacidad\ Bruta = \frac{Longitud\ total\ de\ las\ vias}{longitud\ promedio\ de\ los\ vehiculos} * Velocidad\ Promedio \quad (1)$$

$$Capacidad\ Bruta = 1726 * 30\ k/h \quad (2)$$

$$Capacidad\ Bruta = 48780\ v/h \quad (3)$$

Además de los cálculos anteriores es necesario tener en cuenta los semáforos que existen en el centro y el tiempo en verde de su programación, así como también los paraderos oficialmente determinados y las intersecciones resultantes de las manzanas del centro, los anteriores factores y siguiendo las metodologías

¹⁴ Box Paul C, Oppenlander Joseph C., Manual de Estudios de Ingeniería de Transito, 4a Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A 1985.

¹⁵ Acuerdo 012 de 2002 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama.

Descritas por Box Oppenlander (1985) y Cal y Mayor (2006), se utiliza un factor de corrección para los componentes, paraderos de buses intersecciones e intersecciones con semáforo.

Mapa centro de Duitama

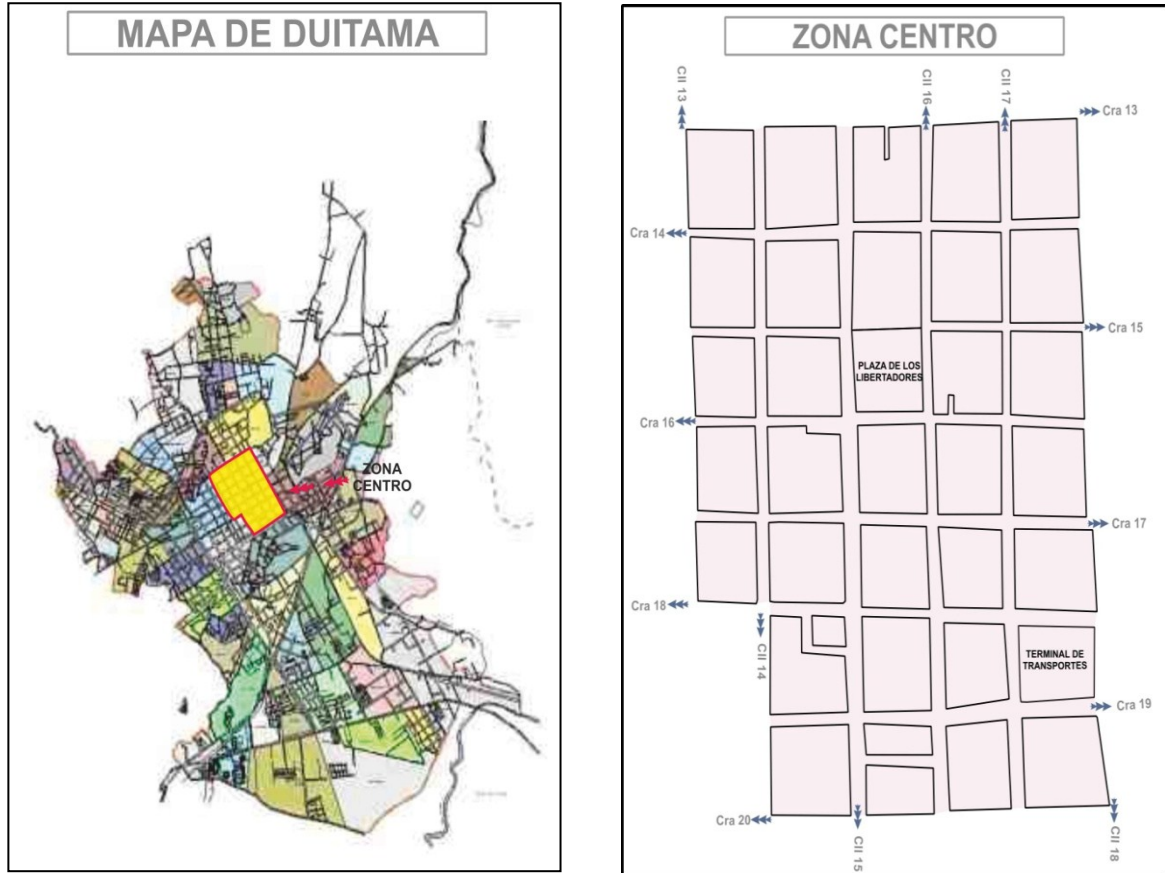


Figura 5 Fuente Adaptado del mapa de división política del municipio planeación Duitama 2002

Calculo de la Capacidad: Con el total de las dimensiones de las vías del centro, dado por Diaz y Mojica (2001), se identifica que la capacidad calculada resultado de multiplicar la capacidad bruta por el 4% por Intersecciones, el 5% por Intersecciones con semáforo y el 3% por paraderos; los anteriores porcentajes son establecidos por el Highway Capacity Manual (2000) los cálculos, se describen a continuación.

$$Capacidad\ Calculada = Cap.Bruta - \{(Cap.Bruta) * [Semaforos * (5\%) + Paraderos * (3\%) + Intersecc * (4\%)]\} \quad (4)$$

$$Cap.Calculada = 48780\ v/h - \{48780v/h * [(0.05)] + [(0.03)] + [(0.04)]\} \quad (5)$$

$$Capacidad\ Calculada = 5853\ v/h \quad (6)$$

11.4.6 Población del municipio: Utilizando los datos suministrados por la secretaria de tránsito del municipio y con los datos del DANE se cruzan los datos de población con los registros de la secretaria para establecer el crecimiento del parque automotor del municipio y poder proyectar el modelo. Los datos de los habitantes desde el año 2010 son obtenidos por los documentos del DANE, luego se utilizan los datos de los vehículos matriculados hasta el año 2010 y se proyectan utilizando la fórmula de pronósticos con la hoja de cálculo Excel*.

Población actual y proyectada del municipio de Duitama

Año	Número de vehículos	Habitantes
2002	2500	105,320
2003	3025	105,980
2004	3687	106,645
2005	4408	107,406
2006	5561	108,126
2007	6748	108,776
2008	8117	109,365
2009	8918	109,914
2010	9505	110,418
2011	10571*	110,911
2012	11520*	111,367
2013	12468*	111,804
2014	13416*	112,243
2015	14365*	112,692

Tabla 7 Fuente documento Secretaria de tránsito de Duitama Informe de gestión 2009 www.dane.gov.co (proyecciones de población)

11.4.7 Capacidad permitida de vehículos estacionados¹⁶: El dato de esta variable es el resultado del trabajo de campo desarrollado por Díaz y Mojica (2001), cuya metodología inicia en determinar las vías objeto de estudio para este caso el centro de Duitama, luego se miden las longitudes de las manzanas que corresponden a las vías del centro y se utiliza un factor de corrección, en el cual se incluyen disposiciones municipales en materia de prohibición de estacionamiento y zonas de seguridad de 6 metros en cada esquina, el resultado es el número de cajones disponibles para el estacionamiento de vehículos, cuyas dimensiones corresponden a las de un automóvil promedio, la zona destinada para el estacionamiento representa cerca del 54% del total de las longitudes de las aceras de las vías.

¹⁶Díaz G. Yolima, Mojica M Dario, Estudio de estacionamiento en la zona centro de la ciudad de Duitama, Tunja 2001 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad de Ingeniería

Esto quiere decir que prácticamente se está ofreciendo media calzada para estacionamientos, para el caso de Duitama el total ofrecido como zona de parqueo es de 878.

11.4.8 Porcentaje de vehículos públicos urbanos por el centro: Según el informe de la secretaria de tránsito las 26 rutas urbanas de servicio de público de transporte de pasajeros, coinciden sus recorridos en pasar por el sector centro, en ese sentido la definición de esta variable va a permitir, evaluar el replanteamiento de las rutas por calles cercanas al centro con el propósito de descongestionar el tráfico vehicular.

11.4.9 Porcentaje de vehículos intermunicipales por el centro: En el acuerdo 012 de 2002 y 017 de 2008 así como en Díaz y Mojica (2001), se habla de la necesidad de reubicar el terminal de pasajeros, por tal motivo y con los datos obtenidos de la secretaria de tránsito y transporte, y la gerencia del terminal de transporte se plantea esta variable que permite evaluar, cuál sería el impacto de reubicar el terminal, restringiendo el paso de vehículos de servicio público con rutas intermunicipales.

11.4.10 Restricción de Estacionamiento: Asociado a la oferta de estacionamiento y con el propósito de probar la política restrictiva de estacionamiento se incluye la variable de restricción de estacionamiento de vehículos para aumentar la capacidad vial y mejorar la movilidad por las vías del centro.

11.4.11 Pico y placa para vehículos privados: En un escenario se va proponer un pico y placa para el centro de la ciudad para experimentar su impacto en la movilidad del centro del municipio.

12. IDENTIFICAR LA NECESIDAD DE ANÁLISIS ADICIONALES.

Siguiendo con la metodología presentada en el estudio realizado por Abbas (1994), en ocasiones es necesario identificar la necesidad de información complementaria, para el caso del modelo, y con el objetivo de calcular la capacidad de las vías fue necesario tener especial cuidado para la parametrización de las unidades del modelo y desarrollar varias pruebas, con el propósito de mantener la coherencia dimensional.

Por otra parte se encuentra el intervalo de tiempo, el cual es de 14 horas y comprende desde las 07:00 horas hasta las 20:00 horas, siendo la hora uno las 07:00 horas y la hora 14 las 20:00 horas.

13. FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL MODELO.

Una vez descritas las variables, la fuente de información de los datos y los valores de cada una, las cuales son necesarias para modelar el sistema de transporte urbano del centro de la ciudad de Duitama, a continuación se presentan las ecuaciones en notación Forrester resultantes incluidas en el modelo. Las ecuaciones se presentan diferenciadas en: de nivel, de flujo o de tasas y auxiliares.

La ecuación de nivel y que es variable de respuesta es:

- Congestión

$$CNG_k = CNG_j + (TLLV_{jk} - TS_{jk}) * DT \quad (8)$$

En esta ecuación se relaciona la descripción hecha en el numeral 11.4.4 con el propósito de coincidir el comportamiento del modelo con la teoría del Highway Capacity Manual (2000).

Las ecuaciones de flujo o tasas son:

- Tasa de llegada de vehículos

$$TLLV_{jk} = CNG_j * (VP_j + VPR_j) \quad (9)$$

El propósito de esta ecuación es modelar el comportamiento del total de los vehículos que ingresan al sistema de transporte del centro de la ciudad, se relaciona la capacidad calculada para controlar el valor máximo de ingreso, y para coincidir con Box y Openlander (1985) y Cal y Mayor (2006), cuando el flujo de ingreso supera la capacidad se presenta congestión.

- Tasa de Salida

$$TS_{jk} = CNG_j * (CCL_j) \quad (10)$$

Con el propósito de controlar la variable de congestión en el sentido de que no presente valores negativos en el modelo en Vensim la tasa de salida es el valor mínimo entre la capacidad calculada dividida en un factor de corrección y la variable congestión.

Las ecuaciones relacionadas con las variables auxiliares son:

- Vehículos privados

$$VPR_j = (N.VPR_j * P.P. * CNG_j) \quad (11)$$

En esta ecuación se relaciona la congestión ya que los vehículos privados pueden escoger la ruta según lo explicado en 11.4.3 para que su comportamiento coincida con el sistema real.

- Vehículos Públicos

$$VP_j = (PINT_j + PURB_j) \quad (12)$$

- Públicos Intermunicipales

$$PINT_j = (TFL.PINT_j * RPINT_j) \quad (13)$$

- Públicos Urbanos

$$PURB_j = (TFL.PURB_j * RPURB_j) \quad (14)$$
- Capacidad Bruta

$$CBRT_j = (CBRT_j * VELP_j) \quad (15)$$

Según Box y Openlander (1985) y Cal y Mayor (2006), para el cálculo de la capacidad vehicular es necesario relacionar la capacidad geométrica descrita en el numeral 3.5 y la velocidad promedio o permitida por otra parte en esta ecuación si la velocidad promedio disminuye la capacidad también dando una coherencia comportamental y coincidiendo con la teoría de Box y Openlander (1985) y Cal y Mayor (2006) , en la que se explica que la velocidad disminuye cuando aumenta la congestión.
- Capacidad Calculada

$$CCL_j = (CBRT_j * REST_j) \quad (16)$$
- Velocidad Promedio

$$VELP_j = (VELP_j * CNG_j) \quad (17)$$

Tomando como referente lo descrito en el numeral 3.5 se presenta esta variable la cual en el modelo desarrollado en Vensim por medio de una expresión condicional modela el comportamiento descrito por Box y Openlander (1985) y Cal y Mayor (2006) el cual al presentarse congestión se disminuye la velocidad promedio, lo cual a su vez disminuye la capacidad.
- Capacidad Bruta

$$CBRT = 5853 \quad (18)$$

Valor descrito en el numeral 11.4.5
- Velocidad Promedio

$$VELP = 30 \quad (19)$$

Velocidad permitida según el Decreto 170 de 2001 es de 30 k/h
- Tabla flujo vehículos Privados

$$TFVPR = (\text{Datos del intervalo mostrado en la tabla 6}) \quad (20)$$
- Tabla flujo vehículos públicos urbanos

$$TFL.PURB = (\text{Datos del intervalo mostrado en la tabla 3}) \quad (21)$$
- Tabla flujo vehículos públicos intermunicipales

$$TFL.PINT = (\text{Datos del intervalo mostrado en la tabla 4}) \quad (22)$$
- Restricción públicos intermunicipales

$$RPINT = 1 \quad (23)$$

Esta variable restringe el tránsito de vehículos de servicio público intermunicipal por el centro como resultado de lo descrito en el numeral 3.9, cuyo resultado es la reubicación del terminal, pudiendo determinar su impacto en la variable de respuesta congestión.
- Restricción públicos urbanos

$$RPURB = 1 \quad (24)$$

- Restricción Pico y placa

$$P.P = 1$$

(25)

El valor dado a esta variable es con el propósito de restringir el ingreso de vehículos en decrementos del 10%.

- Restricción de estacionamiento

$$REST = 0$$

(26)

Esta variable estará relacionada con los vehículos de servicio particular o privado y su máximo valor de 0.5 ya que como máximo puede reducir en 50% el valor de la capacidad calculada lo anterior descrito en el numeral 3.7.

Luego de la anterior descripción de las variables involucradas en el modelo en la **Figura 6** se presenta el diagrama de Forrester, como resultado de la representación de la interacción de los componentes, considerados en el sistema de transporte urbano del centro de la ciudad de Duitama.

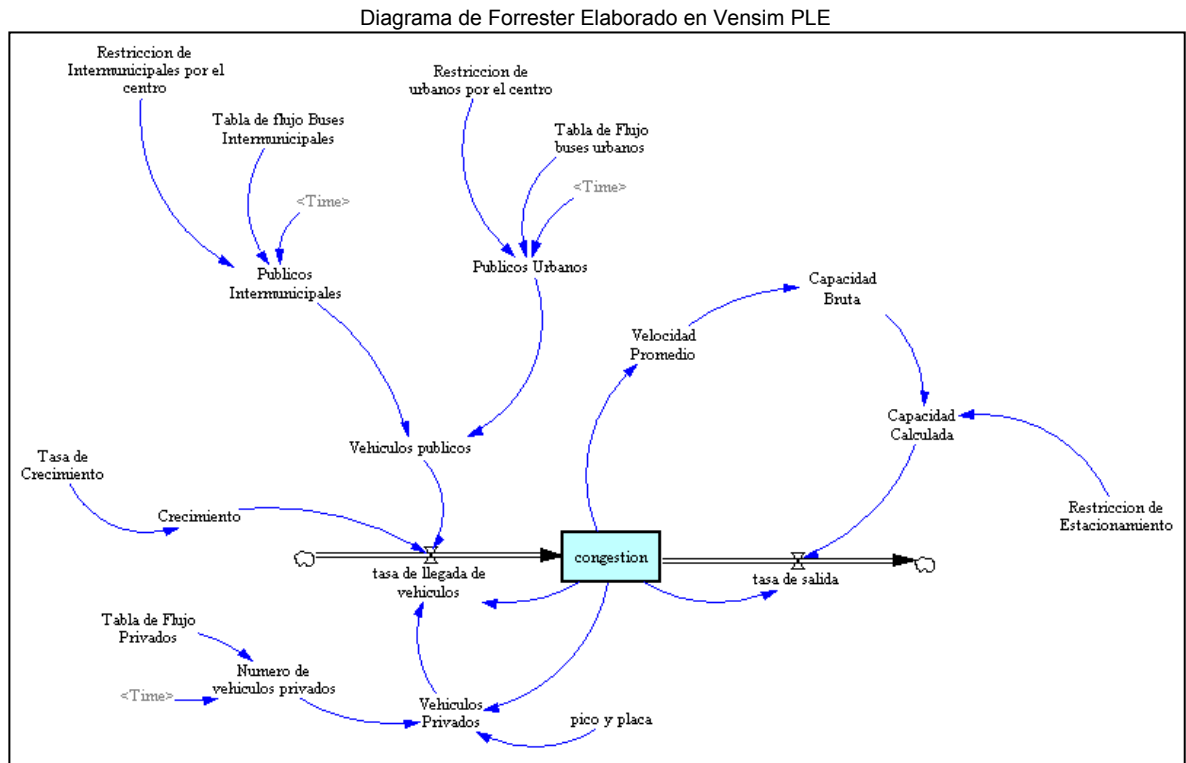


Figura 6 Elaboración propia

14. PRUEBAS DE VALIDACIÓN

En los trabajos de Barlas (1996), Forrester y Senge (1980) y Raymond (1985), en lo concerniente a validación y aproximación a la realidad de los modelos desarrollados en dinámica de sistemas hay un tema recurrente, en el cual, los autores coinciden en que es, prácticamente imposible representar fielmente el comportamiento de un sistema real, con todos sus detalles o posibles marcos de acción, por otra parte el nivel de detalle está relacionado con el costo y el tiempo del desarrollo del modelo, para minimizar estas dos condiciones y permitir un acercamiento lo bastante razonable en términos prácticos, estos mismos autores brindan alternativas para minimizar el error al modelar sistemas reales Barlas (1996), menciona sobre la importancia de definir muy bien el propósito del modelo e insiste en la subjetividad del proceso, en ese sentido si el modelador ha definido el objetivo o el propósito del modelo, arbitrariamente omitirá detalles que a su criterio y con base en el conocimiento del comportamiento del sistema estudiado sean irrelevantes para la investigación.

El conocimiento del sistema según Forrester y Senge (1980), puede provenir de la revisión documental o del criterio de expertos o por observación del investigador del sistema. Para el caso del presente trabajo se incluyeron las siguientes pruebas de validación, para dar una visión de la idoneidad del modelo debido a que si el modelo no representa la realidad la experimentación no tendría sentido y menos la evaluación de políticas para mejorar su desempeño, las siguientes son las pruebas de validación con el propósito de dar confianza y exactitud al proceso de evaluación de políticas.

14.1 PRUEBA DE ESTRUCTURA

En esta prueba Raymond (1985), la describe para determinar si la estructura del modelo coincide con la estructura del sistema que está siendo modelado, se puede realizar comprobando si cada elemento del modelo tiene una contraparte en el sistema real y todos aquellos factores importantes en el sistema, se deben reflejar en el comportamiento del modelo, en ese sentido, uno de los objetivos de este estudio es realizar una descripción del sistema a modelar, por tal motivo, cada elemento del modelo surge de un elemento real

Aunque puede parecer una prueba sencilla, en algunos casos no lo es ya que las relaciones de las partes estructurales de los sistemas rara vez se hacen evidentes, y normalmente su descripción se debe basar en conceptos o modelos mentales de personas familiarizadas con el sistema, y las relaciones entre las partes estructurales de los sistemas, emergen mucho antes de su modelización.

Este enfoque difiere considerablemente de otras metodologías que implican dar mayor importancia a la recolección y análisis de los datos para poder inferir sobre su comportamiento, ya que su enfoque está orientado al análisis estructural, jugando un papel importante la opinión de expertos y la intuición del modelador.

La prueba de estructura define para el caso del sistema representado en el presente estudio, y según la definición de sistema de tráfico de Cal y Mayor (2006), los elementos del modelo encuentran su contraparte en el sistema real y presentan comportamientos similares, es decir el sistema de transporte se comporta de acuerdo al flujo de vehículos, los cuales están sujetos a una variable de capacidad por donde los vehículos se mueven, y cuyo efecto del flujo sobre la capacidad se representa en la variable de nivel o almacenamiento, denominada congestión, y variables auxiliares que ayudan a modificar el comportamiento de los demás componentes del modelo. En ese sentido y dada la naturaleza descriptiva del modelo cada uno de los elementos del modelo tiene una contraparte en el sistema real ya sea en términos tangibles (vías, flujos de vehículos, paraderos semáforos etc), o intangibles información (velocidad, aforos vehiculares restricciones etc.). En ese sentido el modelo tiene validez estructural ya que sus componentes tienen su contraparte en el sistema real ver **Figura 6**.

14.2 PRUEBA ORIENTADA A LOS PARÁMETROS DEL MODELO

Para caracterizar el sistema de transporte urbano del centro de la ciudad de Duitama y tomando como referente, los datos históricos aportados por la secretaria de tránsito del municipio y la gerencia del terminal de transporte, además lo expuesto por Barlas (1996) y Raymond (1985), en lo referente a las pruebas de parámetros los autores advierten que los valores de los parámetros del modelo proveen un ámbito específico de pruebas y pueden ser probados directamente con datos históricos, de esta manera la prueba contribuye significativamente a la confianza en el ó los parámetros probados, ya que su comportamiento debe ser coherente al comportamiento de los componentes estructurales del modelo, en ese sentido los parámetros del modelo concuerdan con lo expuesto en la teoría, debido a que los parámetros del modelo son los flujos de vehículos públicos tanto urbanos como intermunicipales y vehículos privados, los tres en función del tiempo, cuya suma representa la tasa de llegadas de los vehículos al centro.

En ese sentido la prueba se realiza cuando los parámetros son construidos con base en estimaciones o proyecciones estadísticas, sin embargo como los parámetros son producto de los diferentes trabajos de campo realizados y compilados para el proyecto, el modelo es subsistente desde el punto de vista de la prueba orientada a los parámetros ya que sus valores son reales y son representados en las **Figura 7**.

Valores de los Parámetros de flujo del Modelo

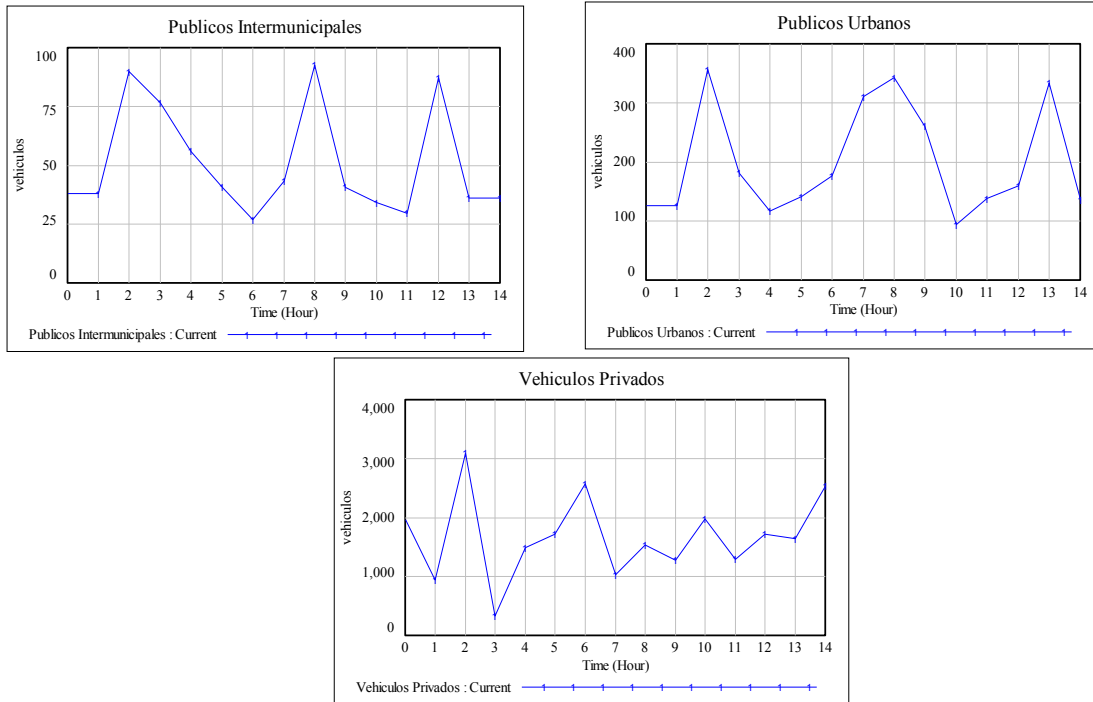


Figura 7 Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE.

14.3 PRUEBA DE SUFICIENCIA DE FRONTERAS

Esta prueba implica la coincidencia de los límites del modelo con el propósito para el cual fue diseñado, dejando un espacio para la evolución y crecimiento del sistema, si los límites del modelo no se encuentran bien definidos es posible detectar una disminución en su validez, en ese sentido y para efectos de esta prueba el modelo se encuentra circunscripto al centro del municipio el cual es definido en el acuerdo 012 de 2002, en donde se establecen los límites para cada uno de los barrios, ver figura (5).

Los valores de las variables están dentro de un marco lógico dado por la realidad para el caso del modelo las tasas de llegada y salida de vehículos ofrecen comportamientos coherentes, los cuales se explican en profundidad en la prueba de condiciones extremas.

14.4 PRUEBA DE CONDICIONES EXTREMAS

Una prueba menos evidente en relación con la estructura del modelo consiste en los efectos de generar condiciones extremas. Para Raymond (1985), la capacidad de un modelo de mostrar un buen funcionamiento en condiciones extremas contribuye a su utilidad como herramienta de evaluación de políticas, y aumenta la confianza del usuario.

Para Barlas (1996), generalmente estas pruebas son del tipo “qué pasaría si” y se procede a modificar significativamente los valores de los parámetros del modelo para evaluar su impacto en los demás elementos del modelo, las pruebas de condiciones extremas también sirven para exponer fallas estructurales o deficiencias y valores de los parámetros incompletos o erróneos.

En ese sentido la prueba que se plantea de condición extrema es que pasaría si no hay tráfico, es decir limitar a cero el flujo de todo tipo de vehículos, para los vehículos públicos urbanos e intermunicipales se limita su tránsito con las variables auxiliares de restricción, y para los vehículos privados el factor limitante es el pico y placa, esta condición se representa en la **Figura 8**.

Diagrama de Forrester en Condiciones Extremas Mínimos Valores Elaborado en Vensim PLE

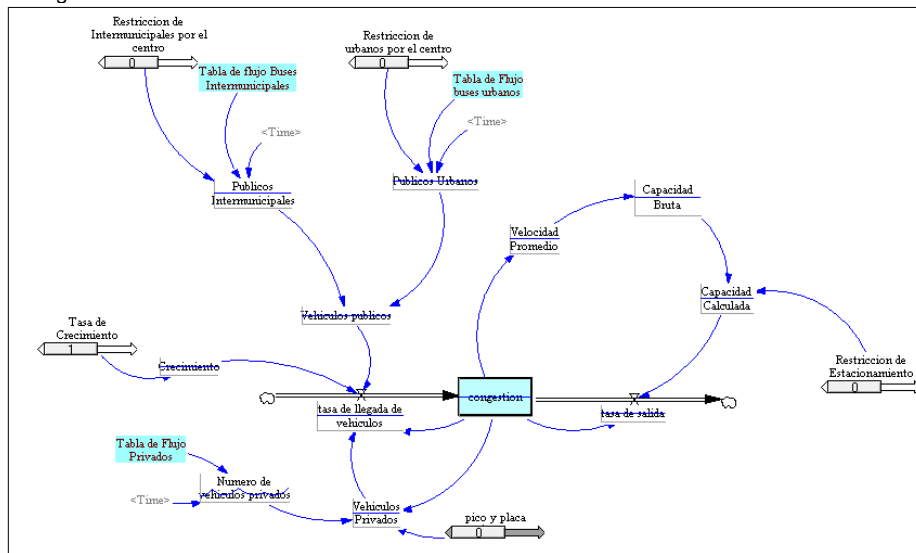


Figura 8 Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

Luego de aplicar el efecto limitante de los parámetros de flujo de vehículos el resultado es un valor de cero en la variable de respuesta congestión, presentada en la **Figura 9**

Variable Congestión en condiciones extremas Mínimos Valores Elaborado en Vensim PLE

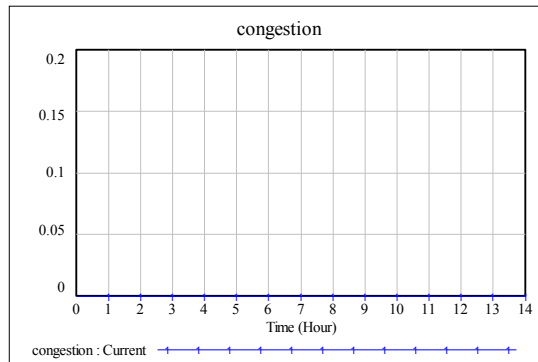


Figura 9 Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

Luego de la prueba es posible decir que el modelo es robusto estructuralmente frente a la condición extrema de cero flujo vehicular, por otra parte desde el punto de vista conceptual si no hay flujo de vehículos no habrá congestión.

Para probar el modelo con la condición extrema de máximos valores de la tasa de entrada de vehículos, se determinan los valores máximos del flujo y se unifican durante las 14 horas de corrida del modelo, Los máximos valores son:

- Vehículos Privados: 7120 Vehículos/Hora
- Vehículos Públicos urbanos: 396 Vehículos/Hora
- Vehículos Públicos intermunicipales: 103 Vehículos/Hora

En la **Figura 10** se observa el modelo simulado con los valores modificados para las variables relacionadas.

Diagrama de Forrester en Condiciones Extremas Máximos Valores Elaborado en Vensim PLE

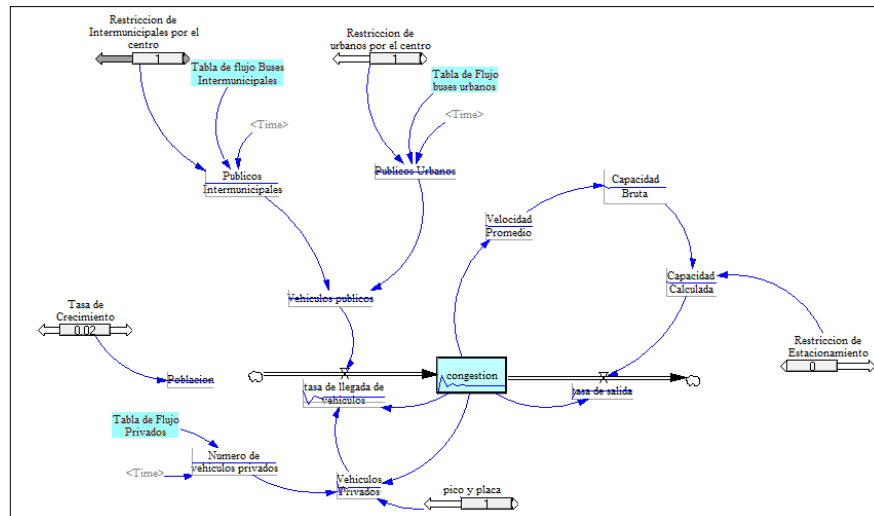


Figura 10 Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

Luego de simulado el modelo en la **Figura 11** se presenta el valor de la variable congestión durante la corrida del modelo.

Variable Congestión en condiciones extremas Máximos Valores Elaborado en Vensim PLE

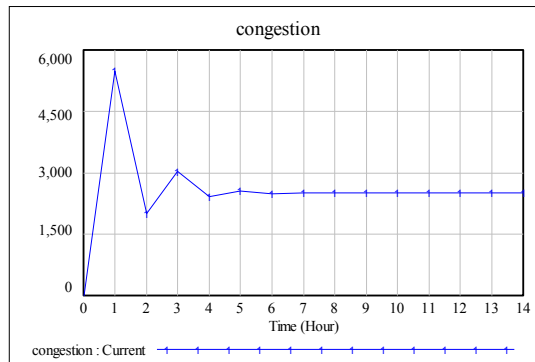


Figura 11 Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

A diferencia de la prueba anterior la variable congestión presenta valores máximos al inicio de la corrida, luego de la cuarta hora simulada es constante y se mantiene en un valor de 2502 vehículos/hora incluso hasta la última hora simulada.

14.5 PRUEBA DE COMPORTAMIENTO

Las pruebas relacionadas con el comportamiento del modelo son a menudo menos técnicas y, para muchos usuarios, más atractivas y convincentes que las pruebas estructurales. La primera de estas pruebas es la comparación del comportamiento del modelo con el comportamiento del Sistema que está siendo modelado. Un modelo cuyo comportamiento tiene poco, o nada en común con la del sistema de interés, genera poca confianza, en sus resultados.

Cuando los datos históricos están disponibles, el modelo debe ser capaz de producir datos similares, es decir, si las condiciones iniciales del modelo se comparan con el estado del sistema que está siendo modelado, en algún momento en el pasado, el comportamiento del modelo debe ser similar a los datos históricos, en esta prueba, es importante tener en cuenta el propósito del modelo.

En ese sentido y coincidiendo con lo descrito por Abbas (1994), y según Diaz y Mojica (2001), actualmente en el centro de Duitama se presenta congestión vehicular, acentuándose en horas pico definidas en la mañana al medio día y por la tarde. La variable congestión, la cual es de respuesta del modelo presenta este comportamiento de las horas pico ver **Figura 12**.

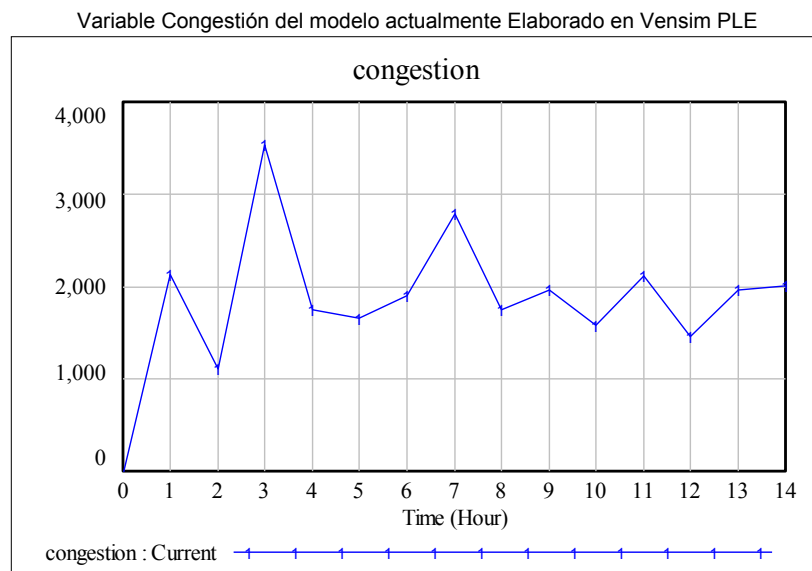


Figura 12 Fuente Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

La prueba de comportamiento describe la situación actual de congestión vehicular del centro del municipio coincidiendo con lo descrito en el acuerdo 017 de 2002, y soportado por lo argumentado por Abbas (1994) y Forrester y Senge (1980), refiriéndose a comportamientos similares soportados por datos o referentes históricos, y como el objetivo del modelo es generar propuestas que mitiguen la congestión vehicular, la prueba comportamental se realiza tomando como referente la variable de respuesta.

Otra prueba de comportamiento es la realizada tomando como referente el bucle de realimentación negativa presentado en la **Figura 4** que consiste en desalentar a los usuarios de vehículos particulares a transitar por las vías del centro cuando hay congestión.

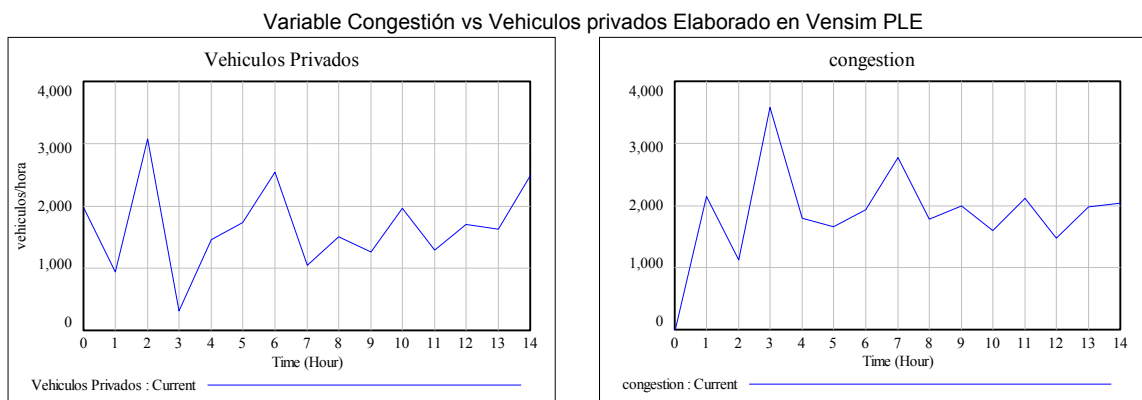


Figura 13 Fuente Elaboración propia desarrollado en Vensim PLE

En la **Figura 13** se observa una disminución del flujo de vehículos particulares cuando aumenta la congestión, coincidiendo con el comportamiento descrito por el sistema actual.

14.6 PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE PREDICCIÓN

Los modelos dinámicos de simulación continua, son especialmente útiles en la predicción, de cómo un sistema se comportaría si las diferentes políticas de interés se llevaran a cabo. Para Aracil (1997), los modelos dinámicos de simulación ofrecen ventajas significativas cuando se utilizan para este propósito, ya que proporcionan una base sólida para predecir comportamientos.

La confianza en el modelo se ve reforzada si en el modelo no sólo se replica el comportamiento histórico de largo plazo, sino que también responde de manera similar a los sistemas emergentes en los que las distintas políticas se han aplicado.

15. ANÁLISIS DE POLÍTICAS Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Para el análisis del sistema y coincidiendo con los objetivos del proyecto, luego de validado el modelo, se procede a generar políticas restrictivas del tráfico orientadas a mejorar el desempeño del sistema y comprender el comportamiento de su estructura. El análisis de políticas se enfoca en cambios en ciertos puntos de decisión en el modelo y sus efectos en las variables de desempeño del sistema, para el caso particular la principal variable de respuesta es la congestión.

Una vez se han diseñado las políticas se prueban y analizan sus resultados, estableciendo para cada prueba un escenario el cual ayuda a utilizar el modelo de una manera más efectiva a manera de plataforma de experimentación, a través del cuales se prueba la hipótesis planteada presentando los resultados de una manera estructurada.

Utilizar escenarios no implica tratar de adivinar lo que sucedería si se aplica una u otra política sino que busca subrayar las grandes fuerzas que empujan el futuro o los futuros en distintas direcciones, construir escenarios invita a un análisis inteligente de lo que puede significar mañana, nuestras decisiones y acciones de hoy, representadas en las políticas, que son los posibles cursos de acción para mejorar el comportamiento de una variable del sistema, la cual es generalmente la de respuesta. Para Barlas (1996) y Raymond (1985) la metodología para el diseño de políticas y generación de escenarios se realiza por medio de los siguientes pasos:

15.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Inicialmente se identifican las variables a las que es sensible el modelo. Como la variable de respuesta es el nivel de congestión, y basado en la prueba de condiciones extremas referenciada en el numeral 8.4, se espera que el modelo sea sensible a un cambio en los valores de las siguientes variables relacionadas con la congestión vehicular.

15.1.1 RESTRICCIÓN DE URBANOS POR EL CENTRO.

La evaluación de esta variable surge como resultado de la prueba de condiciones extremas y del informe de la secretaria de tránsito en donde se menciona que el 100% de las rutas de transporte transitan por las vías del centro de la ciudad.

Dado lo anterior se inicia la corrida del modelo y se cambia la variable disminuyéndola inicialmente en un 10% para restringir en esa misma proporción el flujo de vehículos urbanos por el centro, con el objetivo de determinar el impacto sobre la congestión del tráfico, en la tabla (8) se presentan los resultados de ese cambio en la variable.

Luego de restringir el tráfico publico vehicular urbano en un 10% el impacto sobre la congestión es una reducción -0.76%.

Datos comparativos de congestión y restricción de urbanos por el centro

Datos Sin restricción		Restricción del 10%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2128,00	-0,66
2	1117,29	2	1109,99	-0,66
3	3577,63	3	3545,58	-0,90
4	1790,38	4	1755,75	-1,97
5	1650,20	5	1659,10	0,54
6	1928,58	6	1906,61	-1,15
7	2772,06	7	2778,25	0,22
8	1781,18	8	1748,33	-1,88
9	1986,58	9	1969,91	-0,85
10	1597,05	10	1578,02	-1,21
11	2107,84	11	2112,30	0,21
12	1478,01	12	1459,76	-1,25
13	1974,42	13	1968,56	-0,30
14	2041,99	14	2009,50	-1,62
		Cambio Total Promedio		-0,76

Tabla 8 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

En la tabla (9) se presentan los resultados de cambiar el valor de la variable ahora con una restricción del 50% del flujo de vehículos públicos urbanos el resultado de esta experimentación es una disminución acumulada promedio porcentual en la congestión del -4.07%.

Datos comparativos de congestión y restricción de los 50% urbanos por el centro

Datos Sin restricción		Restricción del 50%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2072,00	-3,38
2	1117,29	2	1080,78	-3,38
3	3577,63	3	3417,39	-4,69
4	1790,38	4	1617,23	-10,71
5	1650,20	5	1694,66	2,62
6	1928,58	6	1818,71	-6,04
7	2772,06	7	2803,05	1,11
8	1781,18	8	1616,91	-10,16
9	1986,58	9	1903,24	-4,38
10	1597,05	10	1501,90	-6,34
11	2107,84	11	2130,13	1,05
12	1478,01	12	1386,79	-6,58
13	1974,42	13	1945,14	-1,51
14	2041,99	14	1879,50	-8,65
		Total cambio promedio		-4,07

Tabla 9 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Continuando con el proceso de experimentación se propone una completa reorganización de las rutas urbanas de los vehículos públicos urbanos por las calles del centro dando como resultado una disminución del -8.84% en la congestión vehicular.

Datos comparativos de congestión y eliminación de urbanos centro

Datos Sin restricción		Restricción del 100%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2002,00	-6,99
2	1117,29	2	1044,27	-6,99
3	3577,63	3	3257,15	-9,84
4	1790,38	4	1444,08	-23,98
5	1650,20	5	1739,12	5,11
6	1928,58	6	1708,84	-12,86
7	2772,06	7	2834,05	2,19
8	1781,18	8	1452,64	-22,62
9	1986,58	9	1819,89	-9,16
10	1597,05	10	1406,74	-13,53
11	2107,84	11	2152,42	2,07
12	1478,01	12	1295,57	-14,08
13	1974,42	13	1915,87	-3,06
14	2041,99	14	1717,01	-18,93
		Total cambio promedio		-8,84

Tabla 10 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de experimentar con la reducción de los tres porcentajes de la variable que restringe el flujo de los vehículos urbanos por el centro de la ciudad en la tabla (11) se presentan los datos consolidados con los porcentajes respectivos luego de cambiar los valores de la variable restricción de urbanos por el centro.

Datos consolidados de congestión con restricción de urbanos centro

Porcentaje restrictivo	Disminución porcentual
10%	- 0,76%
50%	- 4.07%
100%	- 8.84%

Tabla 11 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de los resultados de los anteriores datos y según la experimentación con el modelo a lo sumo una reorganización de las rutas urbanas de transporte público de pasajeros puede traer consigo una reducción en la congestión de máximo un - 8.84%.

A manera ilustrativa en la **Figura 14** se presenta una grafica comparativa del impacto sobre la congestión de las 3 políticas restrictivas frente a la congestión actual.

Comparación congestión actual y con restricción de las rutas

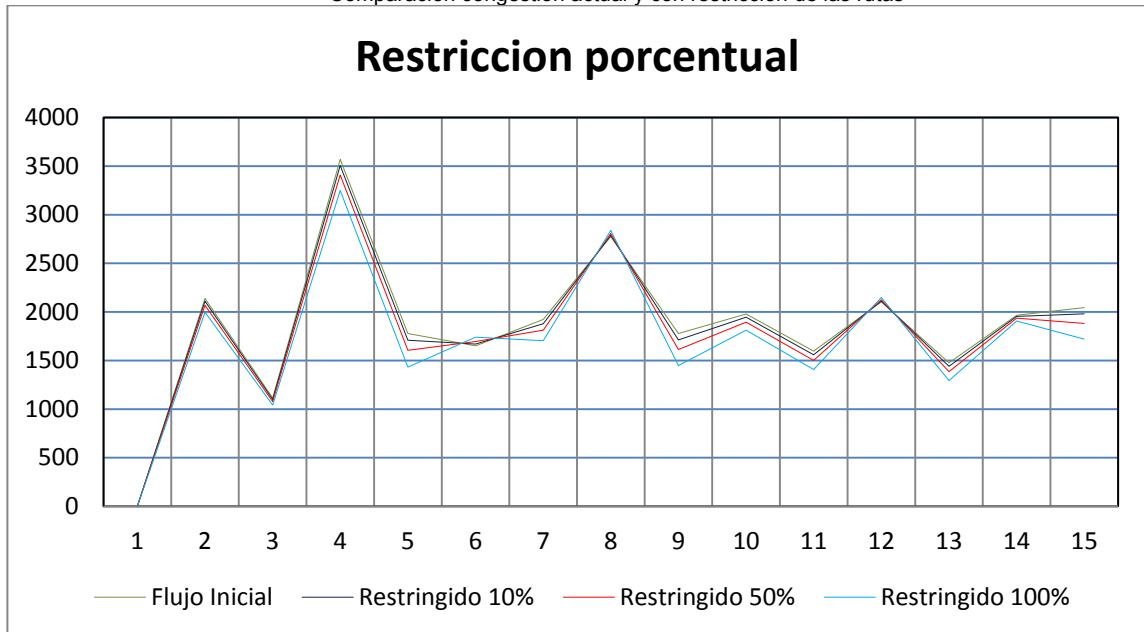


Figura 14 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Continuando con la exploración para determinar las variables a las cuales es sensible el modelo se procede a experimentar con la siguiente variable:

15.1.2 RESTRICCIÓN DE INTERMUNICIPALES POR EL CENTRO

La evaluación de esta variable surge como resultado de la prueba de condiciones extremas expuesta por Abbas (1994) y de la referencia del acuerdo 012 de 2002 y de Díaz y Mojica (2001), en donde se habla de la necesidad de trasladar el terminal de pasajeros del centro de la ciudad.

En ese sentido una reubicación del terminal implicaría una eliminación total de las rutas intermunicipales por el centro de la ciudad, por esta razón el único valor a experimentar de esta variable es una reducción del 100%. En la **tabla 12** se presentan los datos de la experimentación y el cambio porcentual respectivo.

Luego de simulado el modelo con una restricción del 100% en la variable “intermunicipales por el centro” el cambio total promedio presenta un valor negativo lo que significa que el impacto de limitar el paso de los vehículos públicos intermunicipales por el centro representa una disminución del -1.75% sobre la congestión.

Datos comparativos de congestión y eliminación rutas intermunicipales

Datos Sin restricción		Restricción del 100%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2100,00	-2,00
2	1117,29	2	1095,39	-2,00
3	3577,63	3	3500,28	-2,21
4	1790,38	4	1670,31	-7,19
5	1650,20	5	1664,10	0,84
6	1928,58	6	1873,77	-2,92
7	2772,06	7	2806,41	1,22
8	1781,18	8	1742,30	-2,23
9	1986,58	9	1908,83	-4,07
10	1597,05	10	1598,55	0,09
11	2107,84	11	2068,66	-1,89
12	1478,01	12	1470,44	-0,51
13	1974,42	13	1882,33	-4,89
14	2041,99	14	2072,80	1,49
		Total cambio promedio		-1.75

Tabla 12 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

15.1.3 PICO Y PLACA

Continuando con el proceso de experimentación la variable a evaluar para determinar la sensibilidad frente al modelo es un pico y placa para los vehículos privados La experimentación de esta variable surge como resultado del argumento utilizado en las anteriores variables, cual fue el de la prueba de condiciones extremas y también de la experiencia de ciudades como Bogotá, Medellín, Cali etc. Los valores a evaluar serán del 10, 30 y 50% de los vehículos privados. En la tabla (13) se evalúa una disminución en el transito del 10%.

Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 10%

Datos Sin restricción		Restricción del 10%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	1946,00	-10,07
2	1117,29	2	1108,15	-0,82
3	3577,63	3	3277,97	-9,14
4	1790,38	4	1605,54	-11,51
5	1650,20	5	1609,54	-2,53
6	1928,58	6	1781,74	-8,24
7	2772,06	7	2672,61	-3,72
8	1781,18	8	1642,83	-8,42
9	1986,58	9	1917,07	-3,63
10	1597,05	10	1508,26	-5,89
11	2107,84	11	1974,16	-6,77
12	1478,01	12	1426,97	-3,58
13	1974,42	13	1834,20	-7,64
14	2041,99	14	1975,82	-3,35
		Total cambio promedio		-5.29

Tabla 13 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Un pico y placa restrictivo del 10% de los vehículos privados genera una disminución en la congestión del -5.29%, continuando con la experimentación en la **tabla 13** se presentan los datos correspondientes a una disminución del 30% de los vehículos privados.

Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 30%

Datos Sin restricción		Restricción del 30%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	1554,00	-37,84
2	1117,29	2	1033,61	-8,10
3	3577,63	3	2713,72	-31,83
4	1790,38	4	1150,54	-55,61
5	1650,20	5	1495,88	-10,32
6	1928,58	6	1486,83	-29,71
7	2772,06	7	2371,30	-16,90
8	1781,18	8	1342,44	-32,68
9	1986,58	9	1734,90	-14,51
10	1597,05	10	1323,79	-20,64
11	2107,84	11	1668,72	-26,31
12	1478,01	12	1290,12	-14,56
13	1974,42	13	1549,68	-27,41
14	2041,99	14	1780,98	-14,66
		Total cambio promedio		-22,74

Tabla 14 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de restringir los vehículos privados en un 30% por medio de un pico y placa el impacto sobre la congestión es una reducción del -22,74%, finalmente en la **tabla 14** se presentan los datos de una disminución del 50% de los vehículos privados.

Datos comparativos de la variable congestión y pico y placa del 50%

Datos Sin restricción		Restricción del 50%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	1162,00	-84,34
2	1117,29	2	884,06	-26,38
3	3577,63	3	2157,42	-65,83
4	1790,38	4	865,95	-106,75
5	1650,20	5	1213,29	-36,01
6	1928,58	6	1219,44	-58,15
7	2772,06	7	1915,33	-44,73
8	1781,18	8	1250,35	-42,45
9	1986,58	9	1407,11	-41,18
10	1597,05	10	1139,28	-40,18
11	2107,84	11	1305,31	-61,48
12	1478,01	12	1092,77	-35,25
13	1974,42	13	1249,26	-58,05
14	2041,99	14	1504,76	-35,70
		Total cambio promedio		-49,10

Tabla 15 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de restringir en 50% el flujo de los vehículos privados por las vías del centro el impacto en la variable congestión es una reducción del -49.10%.

Luego de experimentar con la reducción de los tres porcentajes de la variable que restringe el flujo de los vehículos privados por el centro de la ciudad en la **tabla 15** se presentan los datos consolidados con los porcentajes respectivos de la variable restricción de urbanos por el centro.

Datos consolidados de la variable congestión con restricción

Porcentaje restrictivo	Disminución porcentual
10%	- 5.29%
30%	- 22.74%
50%	- 49.10%

Tabla 16 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Con el propósito de tener una visión global luego de experimentar con la variable de restricción de vehículos urbanos, en la **Figura 15** se presentan los datos consolidados de la política restrictiva y su efecto en la congestión vehicular.

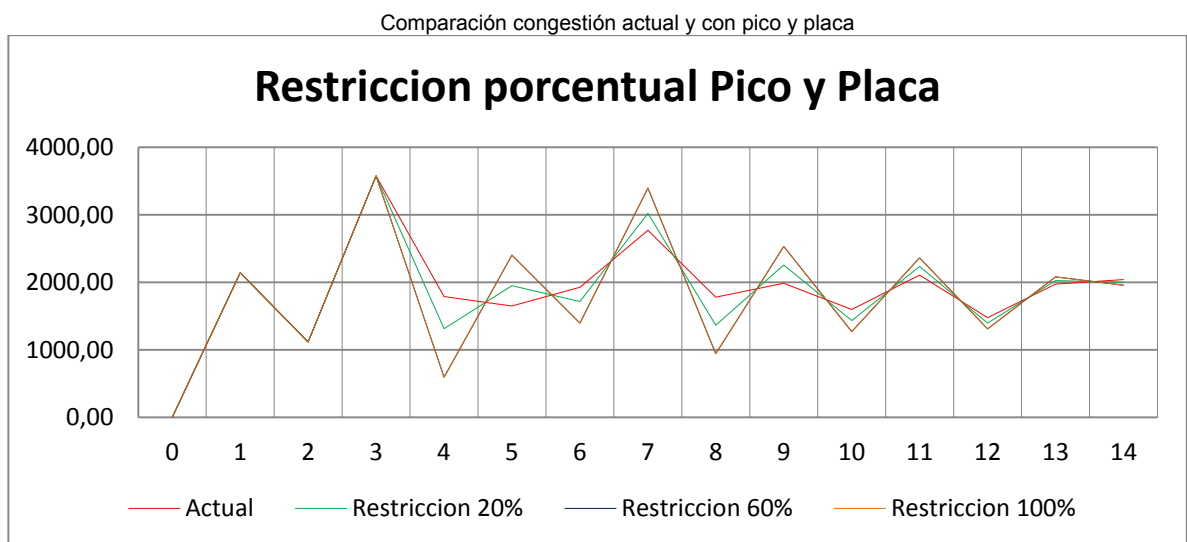


Figura 15 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de los resultados de los anteriores datos y según la experimentación con el modelo, a lo sumo una restricción al tránsito de vehículos privados puede traer consigo una reducción en la congestión de -49.10%.

Continuando con la exploración para determinar las variables a las cuales es sensible el modelo se procede a experimentar con la siguiente variable:

15.1.4 RESTRICCIÓN DE ESTACIONAMIENTO:

La decisión de experimentar con esta variable surge del trabajo de Díaz y Mojica (2001) ya que actualmente en el municipio se está ofreciendo hasta el 50% de las vías, y de acuerdo a lo expuesto en el numeral 3.5 para el cálculo de la capacidad se va a determinar el impacto de restringir el estacionamiento ya que en el modelo actual no hay restricción de estacionamiento, esta restricción va a incidir directamente en la capacidad calculada, aumentándola a lo sumo en un 50%

Los aumentos en la capacidad van a estar distribuidos en 10%, 30% y 50%; para el caso del 10% significa restringir la oferta de estacionamiento en 20% para el 30% representara una disminución del 60% y finalmente una completa restricción del estacionamiento consistente en el 100% para el caso del 50%.

A continuación en la **Tabla 16** se presentan los resultados iniciales de restringir en un 20% el estacionamiento de vehículos en las calles del centro.

Datos comparativos de la variable congestión y restricción de estacionamiento

Datos Sin restricción		Restricción del 20%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2142,00	0,00
2	1117,29	2	1117,29	0,00
3	3577,63	3	3577,63	0,00
4	1790,38	4	1313,60	-36,30
5	1650,20	5	1951,60	15,44
6	1928,58	6	1715,91	-12,39
7	2772,06	7	3021,75	8,26
8	1781,18	8	1364,98	-30,49
9	1986,58	9	2256,80	11,97
10	1597,05	10	1435,47	-11,26
11	2107,84	11	2234,83	5,68
12	1478,01	12	1395,56	-5,91
13	1974,42	13	2027,95	2,64
14	2041,99	14	2000,84	-2,06
		Total cambio promedio		-3,63

Tabla 17 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Luego de restringir un 20% la oferta de estacionamiento para vehículos privados por las vías del centro el impacto en la variable congestión es una reducción del -3.63%.

Con el propósito de evaluar el impacto en la variable congestión luego de una reducción en la oferta de estacionamiento, en la tabla (18) se presentan los resultados de restringir la oferta de estacionamiento en un 60%

Datos comparativos de congestión y restricción de Estacionamiento 60%

Datos Sin restricción		Restricción del 60%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2142,00	0,00
2	1117,29	2	1117,29	0,00
3	3577,63	3	3577,63	0,00
4	1790,38	4	596,64	-200,08
5	1650,20	5	2404,83	31,38
6	1928,58	6	1396,10	-38,14
7	2772,06	7	3397,24	18,40
8	1781,18	8	943,03	-88,88
9	1986,58	9	2530,75	21,50
10	1597,05	10	1271,65	-25,59
11	2107,84	11	2363,58	10,82
12	1478,01	12	1311,97	-12,66
13	1974,42	13	2082,22	5,18
14	2041,99	14	1959,12	-4,23
		Total cambio promedio		-18,82

Tabla 18 Elaboración propia datos de simulación en Vensim

Con una restricción en la oferta de estacionamiento del 60% se presenta una reducción del -18,82% en la variable congestión vehicular.

Finalmente el último valor a experimentar de la variable de restricción de estacionamiento, en la **Tabla 18** se presenta los resultados correspondientes a una restricción total de la oferta de estacionamiento de vehículos particulares en las vías del centro lo cual corresponde a un 100%.

Datos comparativos de la variable congestión

Datos Sin restricción		Restricción del 100%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2142,00	0,00
2	1117,29	2	1117,29	0,00
3	3577,63	3	3577,63	0,00
4	1790,38	4	596,64	-200,08
5	1650,20	5	2404,83	31,38
6	1928,58	6	1396,10	-38,14
7	2772,06	7	3397,24	18,40
8	1781,18	8	943,03	-88,88
9	1986,58	9	2530,75	21,50
10	1597,05	10	1271,65	-25,59
11	2107,84	11	2363,58	10,82
12	1478,01	12	1311,97	-12,66
13	1974,42	13	2082,22	5,18
14	2041,99	14	1959,12	-4,23
		Total cambio promedio		-18,82

Tabla 19 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE

Los datos representados en la **Tabla 19** con una reducción total del 100% en la oferta de estacionamiento presenta los mismos resultados que con una restricción del 60%, esto quiere decir que el modelo es sensible a esta variable a valores inferiores al 60%.

Luego de experimentar con la reducción de la oferta de estacionamiento representada en la variable de restricción de estacionamiento de los vehículos privados en las vías del centro de la ciudad en la **Tabla 20** se presentan los datos consolidados con los porcentajes respectivos.

Datos consolidados de la variable congestión

Porcentaje restrictivo	Disminución porcentual
20%	- 3.63%
60%	- 18.82%
100%	- 18.82%

Tabla 20 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE

Con el propósito de tener una visión global luego de experimentar con la variable de restricción de vehículos urbanos, en la **Figura 14** se presentan los datos consolidados de la política restrictiva y su efecto en la congestión vehicular.

Comparación congestión actual y con restricción de estacionamiento

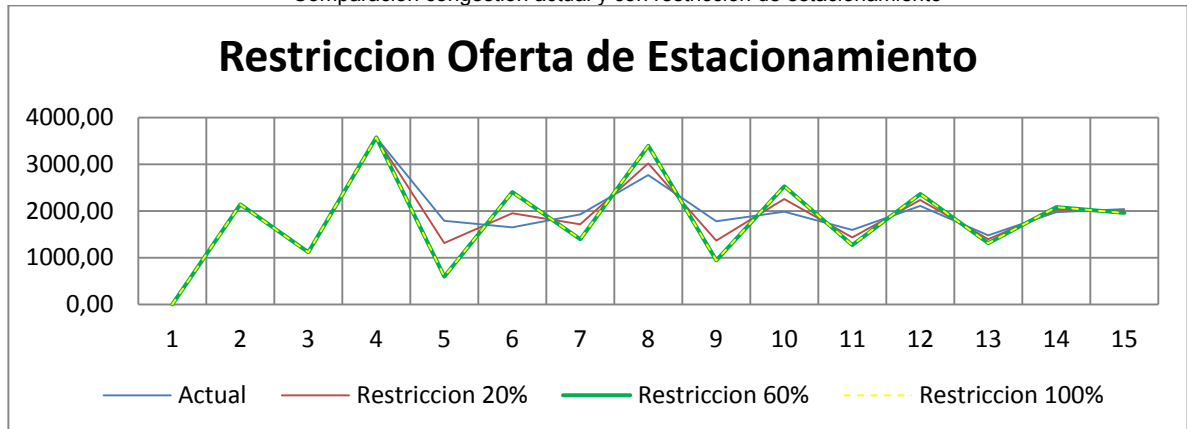


Figura 16 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE

Luego de los resultados de las anteriores pruebas con las variables elegidas y según la experimentación con el modelo, el valor restrictivo de mayor impacto sobre la congestión del tráfico lo representa una reducción en la oferta de estacionamiento del 60% que a lo sumo representa una disminución en la congestión de un 4.25%.

15.2 RELACIONAR VARIABLES Y POLÍTICAS:

Continuando con la metodología expuesta por Barlas (1996) y Raymond (1985), el siguiente paso consiste en relacionar las variables que hayan sido determinadas como las variables a las cuales es sensible el modelo para definir las políticas y proponer escenarios.

Este paso se desarrolla basado en los resultados obtenidos en el apartado 15.1, luego de la experimentación con las variables sensibles se proponen los siguientes escenarios:

15.2.1 ESCENARIO 1

Reorientar las rutas de servicio público urbano por medio de la variable Restricción de urbanos por el centro, en este escenario se logra como máximo una reducción del -8.84% lo que implica una reorganización total de las rutas y paraderos de los vehículos que prestan el servicio público colectivo de transporte de pasajeros dentro del perímetro del centro de Duitama, situación dramática para las empresas y usuarios, en ese sentido es más razonable una reorganización del 50% de las rutas ya que genera una reducción del -8.84%.

15.2.2 ESCENARIO 2

Eliminar rutas intermunicipales por medio de la variable Restricción de intermunicipales por el centro, en este escenario producto de la reubicación del terminal, se genera una reducción en la congestión vehicular del -1.75%, no siendo tan significativa esta política.

En ese sentido la reubicación del terminal además de contribuir a disminuir en un porcentaje poco significativo a la congestión, la reubicación se debe justificar más por aspectos sociales y de embellecimiento, que por contribuir a disminuir la congestión.

15.2.3 ESCENARIO 3

Pico y placa vehículos privados por medio de la variable pico y placa, la política que genera una mayor impacto en la movilidad del centro de Duitama disminuyendo la congestión es el pico y placa para vehículos particulares, ya que una disminución de un 10% genera una mejora en la movilidad del -5.29% y una restricción del 30% reduce la congestión en un -22.74%, finalmente restringiendo el paso a la mitad de los vehículos particulares hacia el centro de la ciudad se genera una reducción de la congestión del -49.10%. Es de anotar el impacto social que una medida de este tipo pueda tener en la ciudad.

15.2.4 ESCENARIO 4

Restricción de estacionamiento, por medio de la variable del mismo nombre aplica para vehículos privados. En este escenario se plantea una política restrictiva que limita la oferta de estacionamiento en las vías del centro de la ciudad, logrando disminuir la congestión en máximo un -18.82%, sin embargo el efecto de aplicar esta política solo se advierte hasta valores restrictivos menores al 60%, ya que con valores superiores no se advierte una reducción en la congestión.

15.2.5 ESCENARIO 5

En los anteriores escenarios se proponen políticas puras para evaluar el desempeño de la variable congestión frente a cada una con distintos niveles restrictivos, en este escenario se propone una política conjunta para maximizar los resultados.

Para tal propósito, se utilizó el diseño experimental para realizar combinaciones de 2 políticas y sus niveles, de estas combinaciones se escogerán las 10 mejores evaluando su conveniencia en términos prácticos y sociales, sin generar efectos dramáticos en la estructura del sistema.

16. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para Montgomery (1991), un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

En ese sentido el diseño se ajusta perfecto con los objetivos del proyecto ya que este diseño facilita conjeturar sobre el sistema y realizar experimentos, para generar resultados (datos) y usar esta información para establecer nuevas suposiciones.

Dentro de los objetivos de un experimento está, determinar la variable o variables que tienen mayor influencia en la variable de respuesta y también determinar la mejor combinación de las variables impactan en la variable de respuesta, que para el caso del proyecto es la variable congestión.

Los elementos básicos de un experimento diseñado según Montgomery (1991), y teniendo en cuenta el análisis descrito en el escenario 5 son:

Factores: Las cuatro políticas y los niveles de restricción asociados a cada una.

Tratamientos: Es la combinación de dos políticas y sus distintos niveles de restricción.

Unidad Experimental: El modelo desarrollado para representar el sistema de transporte urbano del centro de la ciudad.

En la **tabla 21** se presentan las políticas y los niveles de restricción, los valores son explicados con anterioridad en el numeral 15.

Datos consolidados de políticas y niveles de restricción

Políticas \ Niveles de Restricción	A	B	C
1. Restricción de urbanos	10%	50%	100%
2. Restricción de Intermunicipales ¹⁷	0%	- Na -	100%
3. Pico y placa privados	10%	30%	50%
4. Restricción de estacionamiento	20%	- Na -	60%

Tabla 21 Elaboración propia políticas y niveles de restricción

¹⁷ Se omiten las combinaciones 2 - C con 100% de intermunicipales por el centro, ya que en las políticas puras esta variable siempre mantuvo ese valor.

Los tratamientos resultantes de combinar dos políticas y los distintos niveles restrictivos son:

Combinación de políticas y niveles de restricción

TRATAMIENTOS					
1	1 A - 2 A	11	1 B - 4 A	21	2 A - 3 C
2	1 A - 3 A	12	1 B - 4 C	22	2 A - 4 A
3	1 A - 3 B	13	1 C - 2 A	23	2 A - 4 C
4	1 A - 3 C	14	1 C - 3 A	24	3 A - 4 A
5	1 A - 4 A	15	1 C - 3 B	25	3 A - 4 C
6	1 A - 4 C	16	1 C - 3 C	26	3 B - 4 A
7	1 B - 2 A	17	1 C - 4 A	27	3 B - 4 C
8	1 B - 3 A	18	1 C - 4 C	28	3 C - 4 A
9	1 B - 3 B	19	2 A - 3 A	29	3 C - 4 C
10	1 B - 3 C	20	2 A - 3 B		

Tabla 22 Elaboración propia tratamientos de políticas y niveles de restricción

Siguiendo la metodología descrita en el numeral 15 se presentan los datos iniciales de la variable congestión y se comparan con el tratamiento respectivo, para el primer tratamiento los valores se presentan en la tabla 23

Datos comparativos de la variable congestión con el tratamiento uno.

Datos Sin restricción		Restricción del 100%		
Hora	Vehículos hora	Hora	Vehículos hora	Cambio Porcentual
0	0,00	0	0,00	0
1	2142,00	1	2086,00	-2,68
2	1117,29	2	1088,08	-2,68
3	3577,63	3	3468,24	-3,15
4	1790,38	4	1635,68	-9,46
5	1650,20	5	1672,99	1,36
6	1928,58	6	1851,80	-4,15
7	2772,06	7	2812,60	1,44
8	1781,18	8	1709,45	-4,20
9	1986,58	9	1892,16	-4,99
10	1597,05	10	1579,52	-1,11
11	2107,84	11	2073,12	-1,67
12	1478,01	12	1452,20	-1,78
13	1974,42	13	1876,48	-5,22
14	2041,99	14	2040,30	-0,08
		Total cambio promedio		-2,56

Tabla 23 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE Tratamiento uno

Con el tratamiento uno, 10% menos de urbanos por el centro y 0% de intermunicipales por el centro se obtiene una disminución del -2,56% en la variable congestión.

En la **tabla 24** se presentan los datos consolidados de los 29 tratamientos realizados y el impacto sobre la variable congestión.

Datos comparativos de la variable congestión con los distintos tratamientos

DATOS CONSOLIDADOS IMPACTOS PORCENTUALES EN LA CONGESTION								
TRATAMIENTO		IMPACTO	TRATAMIENTO		IMPACTO	TRATAMIENTO		IMPACTO
16	1 C - 3 C	-71,07%	26	3 B - 4 A	-25,96%	8	1 B - 3 A	-10,59%
10	1 B - 3 C	-59,13%	27	3 B - 4 C	-25,96%	24	3 A - 4 A	-10,12%
21	2 A - 3 C	-54,44%	3	1 A - 3 B	-24,20%	11	1 B - 4 A	-9,17%
4	1 A - 3 C	-50,98%	12	1 B - 4 C	-24,16%	19	2 A - 3 A	-7,89%
28	3 C - 4 A	-49,10%	23	2 A - 4 C	-21,90%	2	1 A - 3 A	-6,61%
29	3 C - 4 C	-49,10%	6	1 A - 4 C	-19,82%	7	1 B - 2 A	-6,05%
15	1 C - 3 B	-39,82%	25	3 A - 4 C	-16,63%	22	2 A - 4 A	-5,91%
9	1 B - 3 B	-30,74%	14	1 C - 3 A	-16,42%	5	1 A - 4 A	-4,65%
18	1 C - 4 C	-30,63%	17	1 C - 4 A	-16,04%	1	1 A - 2 A	-2,56%
20	2 A - 3 B	-26,65%	13	1 C - 2 A	-11,11%			

Tabla 24 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE

Con los resultados anteriores se analizan los 10 mejores puntajes, o impactos sobre la variable congestión, y finalmente se escogerá una sola combinación de las políticas.

Los 10 mejores tratamientos de las políticas son:

- Tratamiento 16. 1 C - 3 C. Este tratamiento con un -71.07% y el primero en orden de impacto sobre la variable congestión, supone una reducción del 100% de vehículos públicos urbanos por el centro y un pico y placa para vehículos privados del 50%.
- Tratamiento 10. 1 B - 3 C. El segundo tratamiento en orden lo supone una restricción del 50% de vehículos públicos urbanos y un 50% de pico y placa para vehículos privados, esta combinación impacta sobre la congestión con un 59.13%.
- Tratamiento 21. 2 A - 3 C. Con una restricción total de vehículos intermunicipales por el centro y un 50% de pico y placa para vehículos privados y con un impacto en la congestión del -54.44%.
- Tratamiento 4. 1 A - 3 C. Este tratamiento se presenta con una restricción del 10% de vehículos públicos urbanos por el centro y del 50% de privados resultado de un pico y placa, impactan en la congestión con un -50.98%.
- Tratamiento 28 3 C - 4 A. Impactando la congestión con un -49.10%, este tratamiento reduce los vehículos privados con un pico y placa de un 50% y con el 20% de restricción del estacionamiento en las vías del centro.
- Tratamiento 29 3 C - 4 C. Este tratamiento produce los mismos resultados del anterior pero con un aumento en la restricción del estacionamiento del 60% esta combinación representa una reducción del -49.10%.

- Tratamiento 15. 1 C - 3 B. En el séptimo lugar de impacto sobre la congestión con una reducción del -39.82%, este tratamiento combina una total restricción de urbanos por el centro y el 30% menos de vehículos privados por el centro.
- Tratamiento 9. 1 B - 3 B. Restringiendo el 50% de urbanos por el centro y el 30% de vehículos privados por el centro se logra una disminución del -30.74% sobre la congestión.
- Tratamiento 18. 1 C - 4 C. Una disminución del -30.63%, se logra restringiendo totalmente las rutas de servicio público urbano por el centro, y restringiendo el 60% del estacionamiento de los vehículos.
- Tratamiento 20. 2 A - 3 B. Restringiendo completamente las rutas intermunicipales por el centro y en 30% lo vehículos privados se logra una reducción del -26.65% sobre la congestión.

Luego de lo anterior se evidencia que nueve de los diez mejores puntajes están relacionados con el pico y placa para vehículos particulares lo cual se debería tener en cuenta para el diseño de una política conducente a mitigar la congestión vehicular urbana del centro de la ciudad.

Continuando con el proceso experimental se va a proyectar el modelo con el crecimiento poblacional de la **tabla 7**, en donde se proyecta también un aumento de los vehículos registrados en la secretaria de transito y se evalúa el impacto de la política sobre la congestión en los próximos 10 años, los datos se presentan en la tabla.

Datos de la política resultante del tratamiento 16 con el modelo proyectado a 10 años

POLÍTICA PROYECTADA	
Año	Porcentaje
1	-71.07%
2	-65.40%
3	-58.38%
4	-56.26%
5	-46.93%
6	-42.26%
7	-38.21%
8	-33.34%
9	-28.57%
10	-24.02%

Tabla 25 Elaboración propia datos de simulación en Vensim PLE (Modelo Proyectado)

En la tabla (25) se observa que luego de 10 años de política restrictiva aun conserva un impacto en la variable congestión, en ese sentido es correcto afirmar que una política restrictiva de altos niveles, tendrá un impacto a largo plazo, en este sentido a 10 años proyectando el crecimiento del municipio.

17. ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES.

Luego de documentar los experimentos realizados con el modelo y de acuerdo a lo establecido en el trabajo de Guzmán et. Al. (2008), las políticas conducentes a disminuir la congestión se orientan en dos aspectos principalmente: El primero, hace referencia a modificar la oferta adecuando la infraestructura vial a la demanda o flujo vehicular. El segundo, se orienta en diseñar políticas que restrinjan la demanda, modificando los niveles del flujo vehicular, manteniendo constante la capacidad de la infraestructura; de esta manera, los escenarios propuestos en el presente trabajo se centraron en identificar oportunidades de mejoramiento de la movilidad, por medio de la adopción de políticas orientadas a modificar la demanda, y coincidiendo con Taylor (2004) y Tennoy (2010), quienes en sus trabajos concluyen que las políticas más efectivas para, disminuir la congestión vehicular son las relacionadas con el flujo de vehículos y generalmente se orientan a los vehículos de servicio privado o particular

Con los datos obtenidos en el numeral 15, las políticas que podrían contribuir a mitigar la congestión del tráfico en el centro de Duitama, que están relacionadas con los cuatro escenarios propuestos, se ponen a consideración.

La primera política, conducente a disminuir la congestión que se presenta en el centro del municipio está relacionada con la restricción en porcentaje de las rutas de los vehículos públicos urbanos, para el caso de Duitama esta política se sustenta principalmente, por el hecho de que, según el Decreto 170 de 2001, todas las rutas pasan por el centro del municipio, en ese sentido se diseñó un experimento, para evaluar el impacto de una reorganización de las rutas, lo cual implicaría un impacto social debido a que es necesario reubicar los paraderos física y mentalmente en la comunidad, este tipo de impactos es de difícil medición y según Taylor (2004), si se logra modelar el impacto social de una política, podría ser susceptible de ambigüedades e imprecisiones, de todas formas si se implementa esta política de forma aislada, a lo sumo podría impactar en la congestión, con una reducción del -8.84%, por otra parte Tennoy (2010), argumenta que se puede presentar un efecto bucle de desplazamiento de carga, si la reorganización no se realiza adecuadamente, en ese sentido, la adopción de esta política, implicaría por parte de los decisores, un estudio adicional para determinar la mejor disposición de las rutas de servicio de transporte.

Continuando con el análisis, la siguiente política, la cual se explica en el escenario dos, está relacionada con el proyecto de reubicar el terminal de pasajeros, y se

Sustenta en que dicha reubicación es referenciada en el estudio de Díaz (2001) y en el acuerdo 017 de 2008, el efecto de esta política desde el punto de vista del modelo, consiste restringir completamente el tránsito de vehículos públicos intermunicipales por el centro de la ciudad, logrando una disminución del -1.75%, sin embargo como este resultado está por debajo del porcentaje de disminución de la congestión, el cual se estableció en la hipótesis en -5%, por tal motivo, para su implementación, se hace necesario combinarla con otra política, en cuyo caso se logra un impacto de hasta el -54.44%. En ese sentido y tomando en cuenta los resultados cuantitativos del presente estudio, la reubicación del terminal debe obedecer o otros aspectos distintos a los relacionados con la movilidad ya que el impacto no es significativo comparado con las demás políticas.

Según Taylor (2004), las políticas de mayor impacto son las relacionadas, con modificar la demanda, y dentro de estas políticas las más efectivas se relacionan con la restricción de los vehículos particulares, esto explica, por qué, el tercer escenario, es el de mayor impacto y se relaciona con una restricción para vehículos particulares, por medio de un pico y placa, en esta política, cuando se experimenta aislada de las demás se presenta una disminución del -49.10%, aunque es significativamente superior a las demás políticas, presenta el inconveniente, de aceptación en la comunidad debido a que, en el municipio nunca se ha hablado de una restricción de este tipo y son inciertos los efectos en su implementación ya que podría tener consecuencias de tipo económico y social, las cuales no están establecidas en este estudio; sin embargo se podría recurrir a informes sobre la reducción y el efecto en la congestión en las ciudades Colombianas en donde se ha implementado esta política, por otra parte, en términos cualitativos, ésta política combinada, tiene impactos de hasta el -71.07%, y se encuentra en 9 de las 10 mejores combinaciones de políticas restrictivas, identificadas en el experimento del numeral 16.

De esta manera los entes decisores deberán considerar que, una política para mejorar la movilidad deberá incluir una restricción de los vehículos particulares, para Tennoy (2010), prohibir el estacionamiento mejora la capacidad y su efectividad aumenta en horas pico, el inconveniente que presenta es que a largo plazo representa inconformismo por parte de la comunidad, de hecho la restricción del estacionamiento de vehículos particulares, según experiencias internacionales en Madrid, Oslo y New York relacionadas en el estudio de Guzman et. Al. (2008), su implementación ha tenido grandes impactos en la reducción de la congestión, debido a que técnicamente, aumenta la capacidad de las vías y por otra parte desalienta el uso de vehículos particulares.

Tomando como referente el estudio de Guzman et. Al. (2008), esta restricción podría representar una oportunidad de ingresos, cobrando por el estacionamiento de vehículos; en este estudio, también se presentan una serie de combinaciones, de esta política, dentro de las que están, cobro diferenciado por horario y por sector, aumentando la tarifa en horas pico y en determinados sitios de la ciudad.

Para el desarrollo del proyecto se consideró una restricción plana al estacionamiento de vehículos, y representa la cuarta política restrictiva, relacionada en el cuarto escenario, los resultados de la implementación de esta política en el modelo, e implementada sin combinar se logra una disminución del -18.82%, restringiendo en 60% la oferta de estacionamiento de vehículos, entre tanto que esta política combinada logra impactar la congestión en -49.10%, alcanzando con amplio margen lo planteado en la hipótesis, en ese sentido de implementarse esta política, se sugiere desarrollar un trabajo en donde se explore la forma en que se va a manejar esta política si es restrictiva o si es tarifaria y sus posibles combinaciones.

En los trabajos de Tennoy (2010) y Taylor (2004), se resalta que con la aplicación de políticas combinadas se logran mejores resultados y se mantienen en el largo plazo, en ese sentido, en el quinto escenario se presenta una composición de dos políticas con sus distintos niveles de restricción, razón por la cual se realizó un experimento diseñado, dando como resultado 29 tratamientos o combinaciones de política y niveles restrictivos, en este escenario el mayor impacto, se logra con los máximos niveles de restricción de las políticas uno y tres alcanzando un -71.07%, luego se proyecta el modelo del tráfico urbano y 10 años después se conserva el impacto con un -24.02%.

Además de las políticas diseñadas y evaluadas, en el presente trabajo, existen otras medidas para contrarrestar la congestión, como la expuesta por Guzmán et. Al. (2008), de cobro de peaje urbano y una política denominada, estratificación de horarios, la cual consiste en cambiar el horario de ingreso al trabajo y al estudio, con el propósito de mitigar las horas pico; sin embargo estas dos políticas no se tuvieron en cuenta, debido a lo expuesto por Tennoy (2010), quien plantea que éstas medidas, aunque disminuyeron la congestión, finalmente fueron revocadas por acciones políticas para eliminarlas, destacando lo sucedido en: Hong Kong entre 1983 y 1985, Edimburgo en 2002 y rechazada en el 2005 y New York en el 2007.

Continuando con el análisis y con el propósito de abordar los temas concernientes al problema de la congestión, es de mencionarse lo presentado en el trabajo de Ji Wang et. Al. (2008), quien relaciona estrechamente, las emisiones de CO₂ con la congestión, en ese sentido una política orientada a mitigar la congestión vehicular trae beneficios ambientales, aspectos no considerados en la representación sistémica del proyecto

Finalmente si bien es cierto que las políticas han demostrado, efectividad en términos técnicos y cualitativos, y los trabajos en donde se analizan los efectos de implementarlas, los autores Taylor (2010) y Tennoy (2004) coinciden en que las políticas por si solas no son efectivas, sino que también dependen, en gran medida de la voluntad política y la aceptación de la comunidad.

18. CONCLUSIONES

- Considerando la situación actual del municipio en lo referente al tráfico vehicular urbano, el modelo resultado del trabajo, es una representación en términos sistémicos, hasta antes inexplorado e inexistente en las fuentes documentales del municipio, que explica y permite entender el sistema de transporte vehicular urbano del sector centro del municipio de Duitama, con el propósito de evaluar distintas políticas restrictivas del tráfico orientadas a disminuir la congestión que actualmente se presenta en el centro del municipio.
- En el modelo resultante del trabajo de investigación realizado y cuyas fuentes principalmente fueron documentales, se identificaron y caracterizaron bucles de realimentación negativa, describiendo comportamientos específicos de los sistemas de tránsito urbano, como el relacionado con la velocidad promedio y la capacidad mostrado en la **Figura 3**, y el relacionado con los vehículos privados descrito en la **Figura 4**, este último coincidente con el trabajo de Ji Wang et. Al. (2008), en donde se relaciona el aumento de la población con el aumento en la demanda de medios de transporte, y con el aumento de la congestión vehicular, esta caracterización permitió un mejor entendimiento en la evaluación de las políticas y su impacto en la congestión.
- Si bien los trabajos de investigación consultados como el de Wen y Xuhong (2010) para evaluar políticas de transporte de carga, el de K Indra y N Khana (1993) quien desarrollo un trabajo para planear el tráfico urbano, también el presentado por Q Yang (1997), quien plantea un modelo para evaluar la administración del tráfico urbano, el de J Wang (2008), quien desarrollo un modelo para evaluar la aplicación de la Dinámica de Sistemas en los sistemas de tráfico, entre otros más consultados, de cuya base se apoyó para el desarrollo del proyecto, evidencian la utilización de modelos basados en Dinámica de Sistemas, orientados hacia el tráfico vehicular, sin embargo en ninguno de estos trabajos, se analiza la congestión vehicular, y tampoco se evalúan políticas para minimizarla; lo anterior pone de manifiesto un aporte novedoso en las áreas de estudio de sistemas de tráfico y dinámica de sistemas, otro aporte novedoso lo constituye el hecho de proyectar el modelo en función de evaluar una política a través de un periodo de tiempo, ya que los estudios presentan modelos estáticos, mientras que, el modelo del estudio no se limita a un espacio temporal estático si no que evoluciona y se proyecta al futuro considerando crecimientos, poblacionales, y del parque automotor evaluando la política de mejores resultados.

- De acuerdo a lo expuesto en el acuerdo 012 de 2002 y 017 de 2008, así como también en el trabajo de Díaz (2001), es recurrente la percepción que se tiene al mencionar que uno de los principales factores que coadyuva al recrudescimiento de la congestión es el terminal de transportes por su ubicación en el centro de la ciudad, sin embargo, a partir del desarrollo del modelo se pudo establecer que, esto no es coincidente con los trabajos mencionados, ya que en la evaluación de la política tres, consistente en eliminar las rutas intermunicipales, se advierte una reducción de apenas un -1.75%, entre tanto que en ninguno de estos trabajos se hace referencia al hecho de que el 100% de las rutas de transporte urbano transitan por el centro y cuya reorganización, tiene un impacto en el tráfico de Duitama del -8.84%, en ese sentido el modelo aporta, un punto de vista alternativo de análisis, que ayuda a entender el sistema y a encontrar otras causas que pueden tener un mayor impacto al reducir la congestión.
- Según lo expuesto por Taylor (2004), y de acuerdo a los resultados obtenidos en los escenarios, el trabajo sugiere la aplicación de una política combinada ya que es más eficiente, y produce mejores resultados, que una política pura, por otra parte teniendo en cuenta el trabajo de Taylor (2004), quien afirma que, las políticas orientadas a la demanda son más eficientes desde el punto de vista práctico, pero no lo son desde el punto de vista social, esto es reforzado por Tennoy (2010), quien habla de la conveniencia de las políticas asociadas a la oferta, es decir a mejorar la infraestructura, debido a que son mejores desde el punto de vista político, en razón a que son más aceptadas por la comunidad, aun cuando no sean las más eficientes ni logren los mejores resultados, debido a que estas medidas tienen una mayor aprobación por parte de la comunidad. Con ese referente la adopción de una política por más eficiente que resulte siempre dependerá de la voluntad política, para lograr los objetivos planeados.
- Según los resultados obtenidos en la evaluación de las políticas; las políticas que más reducen la congestión, son las relacionadas con el pico y placa para vehículos privados, esto se debe principalmente, a que, el flujo de vehículos particulares es, por mucho el más alto, por otra parte su alto impacto radica en su relación con el bucle de realimentación negativa, que desalienta el paso de estos vehículos por el centro, si hay congestión, si bien es cierto el pico y placa es el más efectivo, a largo plazo no lo es tanto debido a que las personas de altos ingresos optarán por comprar un vehículo que les permita movilizarse los días de restricción, según lo expuesto por Taylor (2010).

- Se acepta que los datos recolectados para modelar el sistema, se obtuvieron de fuentes secundarias y podría presentarse una diferencia no cuantificada ni medida entre el sistema real y el modelo, por tal motivo y con el propósito de dar una mayor precisión al estudio, se recomienda desarrollar un trabajo de campo, para el aforo de los distintos tipos de vehículos, para el cálculo de la capacidad vial y para la oferta de estacionamiento, los resultados de este trabajo podrían evidenciar otros aspectos no relacionados, ni tenidos en cuenta en el presente estudio, conducentes a reducir la congestión.
- De acuerdo con lo planteado en la hipótesis, que expresa que “Con el diseño y aplicación de políticas orientadas a restringir el tráfico vehicular urbano del centro de Duitama, luego de ser analizadas con un modelo basado en dinámica de sistemas, que represente el sistema del tráfico urbano; es posible disminuir la congestión vehicular que se presenta actualmente en las vías del centro del municipio de Duitama en al menos un 5%”. No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis, cuando son aplicadas la política de reorientación de rutas urbanas que logra una reducción del -8.84%, o la política de restricción de vehículos privados por el centro, que logra reducciones desde el -5.29% con un 10% de restricción, y finalmente la restricción por estacionamiento que reduce en -18.82% la congestión, también cuando se aplica en 27 de los 29 tratamientos de políticas combinadas logrando reducciones desde el -5.29%, hasta el -71.07%; por otra parte, si se aplica la restricción de vehículos intermunicipales por el centro o la reubicación del terminal, no se logra lo planteado en la hipótesis debido a que el impacto en la congestión es del -1.75%.
- Finalmente se recomiendan y ponen a consideración distintas alternativas que pueden ser convenientes en términos económicos, sociales y ambientales, para su implementación por parte de las autoridades a quienes le compete la decisión de implementarlas, las alternativas son las relacionadas con los escenarios 1, 3 y 4 y también con los primeros 27 tratamientos resultado del experimento diseñado, en razón a que Tennoy (2010), menciona que el éxito de las políticas depende de la voluntad política de la administración pública de una población.

19. BIBLIOGRAFÍA

1. A Abbas Khaled, Bell G. H. Michael System dynamics applicability to transportation modeling Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 28, Issue 5, September 1994, Pages 373-390.
2. A Abbas Khaled The use of System Dynamics in modeling transportation systems Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 28, Issue 5, September 1994, Pages 373-390.
3. Acuerdo 012 de 2002 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama
4. Acuerdo 017 de 2008 Plan de Desarrollo “Duitama una Ciudad Digna para Todos” periodo 2008 – 2011.
5. A. Javier, G. Francisco. Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial, 1997.
6. Barlas Y, Formal aspects of model validity and validation in system dynamics models, System Dynamics Review, Volume. 12, No. 3, Fall 1996, pp. 183-210.
7. Box Paul C, Oppenlander Joseph C., Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, 4a Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A 1985.
8. Bull Alberto. Acciones sobre la demanda. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Seminario sobre medidas de control de la congestión del tráfico, Enero de 2002, Santiago de Chile.
9. Cal y Mayor, Rafael, y Cárdenas, James., Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, 8ª Ed. Alfaomega, 2006.
10. C. Raymond Shreckengost, Dynamic Simulation Models: How valid are they, NIDA Research monograph 57 1985.
11. Ch. José, C José A. “Simulación microscópica de tráfico urbano y su aplicación en un área de la ciudad de Zaragoza”, XXV Jornadas de Automática Ciudad Real, del 8 al 10 de septiembre de 2004.
12. Decreto 170 de 2001 Normas locales para la circulación del tráfico público y privado, para el municipio de Duitama.
13. Diaz G. Yolima, Mojica M Dario, Estudio de estacionamiento en la zona centro de la ciudad de Duitama, Tunja 2001 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad de Ingeniería.
14. Daganzo, Carlos F., Fundamental of transportation and traffic operations. Pergamon, 1997.
15. D. Robles, P Ñañez y N Quijano. Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia 2009.
16. D. Jaramillo. Simulación y control de tráfico vehicular por semaforización. Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.

17. Forrester J W. Urban Dynamics, MIT Press, 1969.
18. Forrester, J.W., and Senge, P.M., Tests for building confidence in System Dynamics models. In: Legasto, A.A. Jr.; Forrester, J.W. and Lyneis, T.M. eds. System Dynamics. New York: Elsevier North-Holland, 1980. pp. 209-228.
19. Forrester, Jay W. "Dinámica industrial". Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
20. Guzmán G. Luis Ángel, Hoz S. Daniel de la y Pfaffenbichler, Paul. Análisis de impactos en la tarifa de cobro por congestión en Madrid utilizando la dinámica de sistemas. XV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, Septiembre de 2008, Cartagena de Indias (Colombia).
21. Highway Capacity Manual 2000.
22. Ji Han *, Yoshitsugu Hayashi. "A system dynamics model of CO2 mitigation in China's inter-city passenger transport". Transportation Research Part D 13 (2008) 298–305
23. J. Wang, H. LU, H Peng. "System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application". Journal of transportation Systems engineering and information technology. Volume 8, Issue 3, 2008.
24. Montgomery D. Diseño y análisis de experimentos Ed. Iberoamericana. Mexico 1991
25. Q. Yang. A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems. Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, June 1997.
26. R. Vargas. Análisis de los factores de congestión vehicular para la malla arterial principal de Bogotá D.C. Tesis de Maestría, U. de los Andes, 2003.
27. S. Adams and L. Yu. An evaluation of traffic simulation models for supporting its development. Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University, Tech. Rep., October 2000.
28. STT. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. 2005.
29. J. Timana. Metodología del estudio de Impacto vial Trabajo presentado, Universidad de Piura, 2004.
30. K Indra, N Khana System Dynamics in urban transportation Planning and Policy analysis Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 28, Issue 5, September 1993, Pages 453-462.
31. Taylor Brian D. The Politics of congestion mitigation, Transport Policy, Volume 11, June 2004 pp 299-302.
32. Tennoy A. Why we fail to reduce urban road traffic volumes: Does it matter how planners frame the problem? Transport Policy, Volume 17, February 2010 pp 216-223.
33. Wen Hang n, XuhongLi. "Application of system dynamics for evaluating truck weight regulations". Transport Policy 17 (2010) 240–250.