

**ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS METODOS DE PROYECCION DE
TRANSITO MAS COMUNES UTILIZADOS EN COLOMBIA**

**JESÚS RUBÉN CERTUCHE CARVAJAL
LEONARDO FABIO GUERRERO PICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS METODOS DE PROYECCION DE
TRANSITO MAS COMUNES UTILIZADOS EN COLOMBIA**

**JESÚS RUBÉN CERTUCHE CARVAJAL
LEONARDO FABIO GUERRERO PICO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
YERLY FABIÁN MARTÍNEZ ESTUPIÑAN
Ingeniero Civil. Ms.C.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi hijo, quien fue mi principal motivación para culminar esta etapa, es el motor que me impulsa a dar nuevos pasos y por quien lograré nuevas metas. A la comunidad estudiantil, personal docente y egresados de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Jesús Rubén Certuche Carvajal

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primero que todo a Dios y a una persona muy especial que ya no está conmigo, pero que fue de gran importancia en mi educación, porque me brindo de sabiduría y guio mis pasos en las épocas donde sentí perder mi camino.

A mi sagrada familia, a mi padre, a mi madre y a mis hermanos por su apoyo incondicional cada vez que los necesite, sin ellos no hubiera sido posible realizar este sueño y una de mis más grandes metas, infinitas gracias a ellos, porque son lo mejor que puedo tener.

Finalmente y de igual manera, a mi novia, por su ayuda y sus ánimos para no decaer, pero, especialmente, por llenarme de confianza, incluso, cuando no estaba en mis mejores momentos. Así mismo y sin dejar atrás, a mis compañeros de la universidad con los que forme equipos de trabajo, con los que aprendí y compartí durante esta etapa, a ellos también gracias.

Leonardo Fabio Guerrero Pico

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios, quien me ha concedido la oportunidad de llegar hasta donde estoy; de manera especial agradezco, a mis padres, quienes me han dado la oportunidad de cumplir mis metas apoyándome en todos los aspectos; a mi esposa y familiares, porque en todo momento han creído en mí, me han brindado su apoyo y han estado a mi lado.

Mi agradecimiento a el Ingeniero Yerly... quien fue mi director de proyecto y supo guiarnos y asesorarnos a lo largo del proceso; Al director de escuela... a mis Evaluadores y al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Civil; a cada uno de los profesores que a lo largo de mi proceso de formación lograron enriquecerme en conocimiento y me transmitieron algo de su experiencia; al personal directivo de la Universidad Industrial de Santander, el ... Rector, El Vicerrector y al consejo académico; a todos muchas gracias.

Jesús Rubén Certuche Carvajal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Director de proyecto el Ingeniero y Maestro Yerly Fabián Martínez, por su colaboración y apoyo en todo lo que estuvo a su alcance y sus valiosos comentarios y recomendaciones.

Y, en general, a todos los Docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, por sus valiosos conocimientos y experiencias, que contribuyeron con mi proceso académico, que me formo como un profesional integral, para mi futuro desarrollo.

Leonardo Fabio Guerrero Pico

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1. METODOLOGÍA	20
1.1 FASE I	20
1.2 FASE II	20
1.3 FASE III	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. CARACTERÍSTICAS BASICAS DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA	21
2.1.1. Análisis de la demanda en corredores.	21
2.1.1.1 Metodología de la previsión de la demanda en corredores.	21
2.1. MÉTODOS DE PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	25
2.1.1. Método de extrapolación de tendencias.	25
2.1.1.1 Descripción del método.	25
2.1.1.2 Modelos y/o funciones matemáticas.	26
2.1.1.3 Ventajas y desventajas del método.	28
2.1.1.4 Variables usadas en el método.	28
2.1.2. Método de previsión econométrica.	32
2.1.2.1 Descripción del método.	32
2.1.2.2 Modelos y/o funciones matemáticas.	36
2.1.2.3 Ventajas y desventajas del método.	39
2.1.2.4 Variables usadas en el método.	39
2.2.3. Método de proyección de la Demanda mediante elasticidades	47
2.2.3.1 Descripción del método.	47

	Pág.
2.2.3.2 Modelos y/o funciones matemáticas.	47
2.2.3.3 Ventajas y desventajas del método.	51
2.2.3.4 Variables usadas en el método.	51
3. ANALISIS COMPARATIVO	53
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
BIBLIOGRAFIA	59
ANEXOS	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas para la previsión de la demanda	21
Figura 2. Métodos de proyección del tránsito	25
Figura 3. Variables independientes para realizar la extrapolación de tendencias	29
Figura 4. Etapas que comprende el método de la previsión econométrica	34
Figura 5. Variables explicativas o exógenas	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. EJERCICIO 1: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO POR ZONA	63
ANEXO B. EJERCICIO 2: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL TRANSITO PROMEDIO DIARIO	66
ANEXO C. EJERCICIO 3: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ZONA	68
ANEXO D. CUADRO-RESUMEN DE LOS MÉTODOS MÁS USADOS EN COLOMBIA PARA REALIZAR PROYECCIONES DE TRANSITO	72

RESUMEN

TITULO: ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS METODOS DE PROYECCION DE TRANSITO MAS COMUNES UTILIZADOS EN COLOMBIA *

AUTORES: JESÚS RUBÉN CERTUCHE CARVAJAL **
LEONARDO FABIO GUERRERO PICO **

PALABRAS CLAVE: PROYECCIÓN DE TRÁNSITO, SERIES HISTÓRICAS, EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS, PREVISIÓN ECONOMETRICA, PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO, INVIAS, DANE.

DESCRIPCIÓN:

Esta investigación se basa principalmente en realizar una descripción de los estudios más recientes que se han hecho acerca de las diferentes metodologías existentes para realizar proyecciones del tránsito en Colombia, con la finalidad de establecer el estado del arte que permita brindar una variedad de opciones para el uso de este tópico tan fundamental en la realización de cualquier estudio de tránsito y movilidad.

La definición del proceso a utilizar para la proyección del tránsito es un tema muy importante, ya que permite visualizar el futuro de la demanda del tránsito de vehículos, para tratar de estimar y satisfacer las necesidades de oferta que se requieren, pero para esto es necesario utilizar información proveniente de reportes de entidades del sector, siendo esto en ocasiones uno de los limitantes para el desarrollo de estos trabajos. Así pues, en la actualidad, los métodos más empleados para realizar las proyecciones del tránsito, son la extrapolación de tendencias, la previsión econométrica y la demanda mediante elasticidades; la elección de un método u otro varía de acuerdo a la información que se tiene sobre variables como el crecimiento demográfico, el tránsito promedio diario, el PIB, el PIB per cápita, las exportaciones e importaciones y la motorización, entre otras.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ciencias Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

ABSTRACT

TITLE: STATE OF THE ART ON THE PROJECTION METHODS USED IN COMMON TRANSIT COLOMBIA *

AUTHORS: JESÚS RUBÉN CERTUCHE CARVAJAL **
LEONARDO FABIO GUERRERO PICO**

KEYWORDS: PROJECTION OF TRAFFIC, HISTORICAL SERIES, EXTRAPOLATION OF TRENDS, FORECAST ECONOMETRIC, PROJECTION OF THE DEMAND, DEMOGRAPHIC GROWTH, INVIAS, DANE.

DESCRIPTION:

This research is mainly based on making a description of the most recent studies that have been made about the different existing methodologies for projecting traffic in Colombia, in order to establish the state of the art that allows providing a variety of options for use of this fundamental topic in the conduct of any study of transit and mobility.

The process definition used for the projection of traffic is a very important issue, since it shows the future traffic demand of vehicles, to try to assess and meet the needs of supply that are required, but this requires use information from reporting entities in the sector, this can sometimes be one of the limiting factors for the development of this work. Thus, at present, the most common methods for traffic projections are trend extrapolation, econometric and demand forecast by elasticities; the choice of one method or another varies according to the information we have on variables such as population growth, average daily traffic, PIB, per capita PIB, exports and imports and motorization, among others.

* Degree work.

** Mechanical Physical Sciences Faculty's, Civil Engineering School's, Director: Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano de las ciudades implica no solo un crecimiento poblacional, sino que trae consigo un aumento en los volúmenes de tránsito, la congestión vehicular, la demora y aumento en los tiempos de viaje y la disminución de la calidad del servicio de transporte público. En las últimas décadas se ha presentado un aumento significativo en el número de vehículos de transporte motorizado privado (automóviles y motocicletas).

Los problemas de movilidad y seguridad vial en nuestra ciudad están íntimamente relacionados con el incremento acelerado del parque automotor, que hoy en día asciende a 162.221 vehículos matriculados en Bucaramanga y a 454.912 en el Área Metropolitana, de los cuales el 53% corresponde a motocicletas, además de una red vial que en los últimos años no ha tenido el crecimiento esperado y que por el contrario su malla vial se ha deteriorado, trayendo consecuencias muy fuertes en la seguridad de los usuarios.[1]

La situación mencionada anteriormente hace que sea de vital importancia conocer el comportamiento que tendrá el flujo vehicular en el futuro ya que en la mayoría de situaciones referente a proyectos viales con regularidad se presentan dificultades como deterioros tempranos en la estructura de los pavimentos y vías que llegan a su capacidad prematuramente.

Teniendo en cuenta que los cálculos a futuro son inciertos, y los factores económicos, políticos y sociales que afectan al tránsito lo son aún más, el objetivo de esta investigación es dar a conocer los diferentes métodos existentes para la proyección de volúmenes de tránsito utilizados a nivel nacional teniendo en cuenta que existen varios tipos de proyecciones, las cuales pueden servir para diferentes clase de problemas y que no existe un tipo de modelo único que se ajuste a un problema de tránsito tan específico. En si son numerosos los métodos de previsión de la demanda, pero básicamente se han distinguido tres tipos: La extrapolación

de tendencias, la previsión econométrica y la proyección de la demanda mediante elasticidades.

La extrapolación de tendencias consiste en el ajuste de curvas efectuando una simple proyección de los datos históricos. Los diferentes tipos de curvas de tendencia pueden ser lineales, exponenciales, de tipo parabólico, etc.

En la previsión econométrica se usan modelos de regresión múltiple. En los cuales se emplean como variables exógenas diversas magnitudes socioeconómicas.

La elasticidad mide el grado de respuesta de una variable ante la variación de otra variable de la cuál esta depende. La demanda mediante elasticidades se trata de un modelo del tipo de factor de crecimiento, es decir que la demanda futura se determina a partir del tráfico actual.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar el estado del arte de los métodos existentes para realizar las proyecciones de volúmenes de tránsito más comunes en Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros fundamentales que inciden en la proyección del tránsito para proyectos de infraestructura vial.
- Revisar los diferentes modelos de proyecciones de volúmenes de tránsito aplicables en Colombia.
- Realizar un análisis comparativo de los métodos de proyección recopilados.

1. METODOLOGÍA

1.1 FASE I

Para la Fase I tenemos la recopilación bibliográfica, mediante revisión de bases de datos, artículos, revistas científicas, estudios de consultoría realizados en grupo de GEOMATICA, aplicaciones de la diferentes proyecciones de tránsito, implementación de la misma, tesis de grado, entre otros referente al tema actualizado.

1.2 FASE II

Filtrar la información recopilada, analizando los modelos más comunes de proyección de volúmenes de tránsito para proyectos de infraestructura vial y estudios de movilidad, en distintas ciudades de Colombia, determinando un análisis comparativo a los parámetros que más inciden en cada método y los resultados que se han obtenido de aplicar dichos modelos y/o metodologías, analizando su impacto en la movilidad así como su grado de aceptación ante la comunidad que las recibió.

1.3 FASE III

Redacción del artículo final para la propuesta como requisito de grado.

2. MARCO TEÓRICO

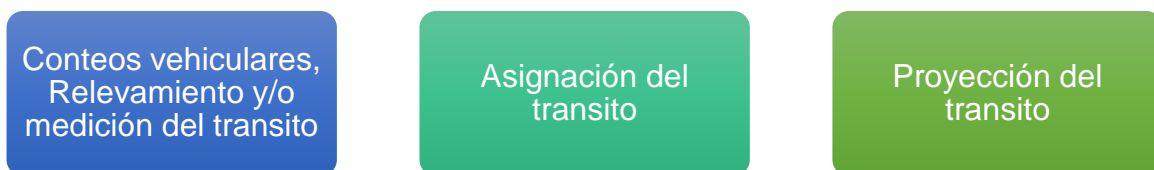
2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA

La demanda de transporte es derivada de la demanda de bienes y servicios. Así, la cantidad de viajes que se producen hacia y desde una ciudad, durante un período determinado, está relacionada con el tipo, cantidad y distribución espacial y temporal de las actividades sociales y económicas de la ciudad y sus alrededores, así como de las características económicas y demográficas de la sociedad en estudio.

2.1.1. Análisis de la demanda en corredores. El principal objetivo del análisis de la demanda es la estimación de las corrientes actuales y futuras de desplazamiento de personas y mercancías a través de la vía objeto durante un período determinado. [2]

2.1.1.1 Metodología de la previsión de la demanda en corredores. La metodología para el estudio de la previsión de la demanda en corredores sigue, en general, tres etapas, las cuales pueden ser aplicadas indistintamente a tráfico o a tránsito, estas se muestran en la figura 1.

Figura 6. Etapas para la previsión de la demanda



Fuente: Autores del Proyecto.

a. Conteos vehiculares, Relevamiento y/o medición del tránsito:

En esta etapa se deberán obtener los datos referentes al tránsito que utiliza el corredor. Este relevamiento puede consistir en la recolección de información disponible (por ejemplo de organismos viales, empresas de transporte, etc.) o de mediciones realizadas especialmente.

En Colombia se realiza una publicación mensual del reporte de tránsito o tráfico vehicular, con el propósito de hacer un seguimiento detallado del comportamiento del volumen de vehículos que transitan por las casetas de peajes permanentes, y las concesiones de primera generación dentro del territorio nacional.

A partir de la información suministrada por el Instituto Nacional de Vías -INVIAS- y la ANI, se realiza una descripción del comportamiento del tráfico de carreteras de las diferentes clases vehiculares y de la relación existente con el desempeño de la actividad económica.

La Subdirección de Apoyo Técnico del Instituto Nacional de Vías INVIAS publica anualmente la cartilla de volúmenes de tránsito. En esta cartilla se presentan los resultados del conteo manual de tránsito durante una semana del año, la cantidad de estaciones de conteo, la longitud de kilómetros que hacen parte de la muestra, entre otra información de composición del tránsito de vehículos. [3]

En caso de no contar con información existente suficiente para el estudio de demanda se deberán realizar relevamientos especiales según los métodos que se exponen en las materias Ingeniería de Transporte, Diseño y Operación de Caminos y Tránsito.

b. Asignación del tránsito:

Para obtener estimativos confiables de los volúmenes vehiculares que circularan en el futuro por variantes o vías alternas se utilizan modelos de asignación de tránsito, los cuales se alimentan por las demandas pronosticadas, las que a su vez se estiman con modelos de demanda.

Estos se calibran utilizando parámetros socioeconómicos (como la población total, la población económicamente activa, la población ocupada y los vehículos registrados) y las demandas actuales obtenidas a través de encuestas de origen y destino. Por lo general, la asignación es de tipo probabilístico con base en una función de utilidad que toma en cuenta el tiempo de recorrido, las tarifas, los costos de operación, las características geométricas, y los volúmenes actuales y su composición. [4]

Así pues la asignación del tránsito consiste en determinar el itinerario que seguirán los usuarios entre los recorridos alternativos posibles que se les ofrece dentro del corredor, donde dicho itinerario está influenciado por una serie de factores, entre los que se destacan los siguientes:

- Longitud,
- Calidad del itinerario en cuanto a condiciones de la calzada, comodidad, etc.,
- Grado de congestión o tiempo de viaje, y,
- Peaje, si lo hubiera.

c. Proyección del tránsito o demanda:

La etimología de la palabra proyección viene del latín proiectio, de proficere; de pro=delante y facere=hacer. La noción de proyección se emplea de distintas

maneras. En este caso, nos interesa su acepción como aquella planificación o previsión que se lleva a cabo para anticipar cómo será el comportamiento del tránsito en el futuro. Es una estimación del comportamiento de una variable en el futuro. Específicamente, se trata de estimar el valor de una variable en el futuro a partir de la información que se posee en el presente.

La proyección del tránsito consiste en estimar la evolución que tendrá dicha variable en el futuro, a partir del instante correspondiente al último valor conocido y se realiza con el fin de formular y calibrar un modelo de transporte.

El punto de partida para una correcta proyección viene dado por el conocimiento de la evolución histórica y la realidad presente del mercado cuyo desempeño se pronostica.

Para realizar una proyección del tránsito, es necesario cuantificar la demanda de uso de sistemas de transporte, recopilando información y teniendo en cuenta algunos parámetros, los cuales dependen del método que se utilice para realizar la proyección, el cual a su vez depende del proyecto y/o del lugar donde se realice, identificando un diagnóstico de la situación actual de la vía, con el fin de formular con base a proyecciones alternativas de solución a la congestión que actualmente se presenta.

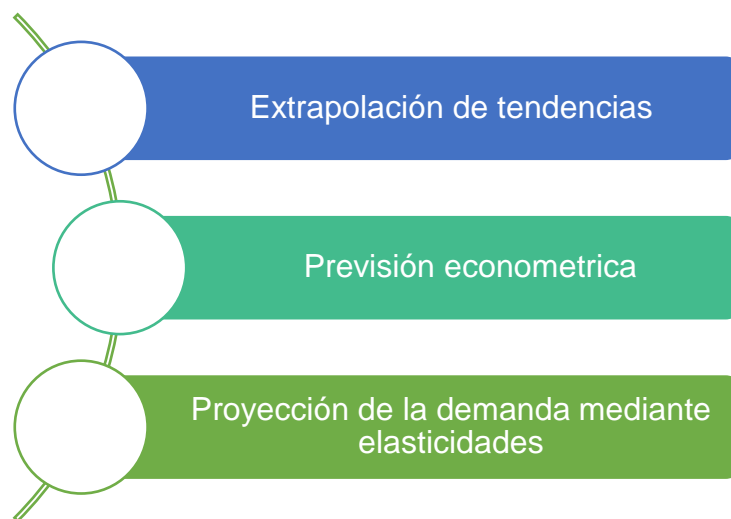
En algunos casos, la previsión consiste simplemente en extrapolar hacia el futuro la serie de los valores registrados por la variable en el pasado.

Una forma más elaborada requiere identificar las razones que explican la evolución histórica de la demanda y, mediante el pronóstico del desarrollo futuro de aquéllas, estimar el comportamiento esperado de la variable explicada, el cual se deduce del conocimiento previsible de sus causas. En cualquiera de las opciones el método avanza desde el presente hacia el futuro.

2.1. MÉTODOS DE PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Las técnicas para proyectar la demanda son diversas y su aplicación depende de múltiples factores, en el campo de las carreteras, los métodos de frecuente utilización para realizar la proyección del tránsito, son los que se muestran en la figura 2.

Figura 7. Métodos de proyección del tránsito



Fuente: Autores del Proyecto.

2.1.1. Método de extrapolación de tendencias.

2.1.1.1 Descripción del método. Como su nombre indica, la extrapolación de tendencias utiliza la historia para identificar tendencias. Aunque la extrapolación de tendencias se ha utilizado siempre hasta cierto punto, ha ganado popularidad en las últimas décadas. Hay dos razones para ello. La primera es la explosión del conocimiento científico (que también ha afectado a la ciencia histórica). La segunda es la demanda creciente de los gobiernos y los poderes financieros (especialmente los mercados de valores) de disponer de los mejores pronósticos posibles de lo que deparará el futuro.

La tendencia se define como el movimiento uniforme de una serie cronológica, así pues la extrapolación de tendencias consiste en determinar la tendencia con que evolucionó el tráfico en el pasado y proyectar dicha tendencia al futuro, teniendo en cuenta que aquellos factores que en el pasado produjeron tendencias o cambios en el tránsito, son constantes y continuarán influenciando su futuro.

El objetivo de esta herramienta es examinar de manera crítica el impacto de las tendencias del pasado, buscar tendencias que presumiblemente afecten a su futuro, analizar estas tendencias y formular una previsión o proyección, para lo cual es necesario contar con datos correspondientes a series históricas, cuanto más extensas mejor.

Esta técnica intenta hacer proyecciones para el futuro basándose en tres supuestos:

- Los patrones observados van a persistir en el futuro.
- Las variaciones registradas en las tendencias bajo análisis van a ser recurrentes en el futuro.
- ediciones de tendencias son confiables y válidas.

Esta hipótesis implica que en los años venideros los cambios de las variables que determinan la demanda se comportarán – en término medio – igual a como lo hicieron en el pasado y, por lo tanto, sus efectos serán similares a los registrados históricamente.

2.1.1.2 Modelos y/o funciones matemáticas. Los pasos necesarios para la aplicación del método de extrapolación de tendencias son los siguientes:

- La elección de una línea de ajuste,

- La búsqueda de un método para ajustar la curva a la nube de puntos conformada por los valores de la serie histórica; y,
- La aplicación de la función para prever el tránsito futuro. [5]

a. Elección de una línea de ajuste:

Tiene que ver con la identificación de una función matemática que se utilizará para la extrapolación.

Así pues los datos de las series históricas disponibles se analizan mediante la aplicación de modelos de regresión usando el método de los mínimos cuadrados para cada uno de los siguientes modelos matemáticos:

Lineal:	$Y = A + B * X$
Logarítmico:	$Y = A + B * \ln(X)$
Exponencial:	$Y = A * e^{(B * X)}$
Potencial:	$Y = A * X^B$

b. Ajuste de la curva:

El ajuste estadístico se realiza linealizando la función, aplicando el método de regresión lineal simple y calculando los valores de los coeficientes desconocidos que aparecen en la ecuación representativa de la curva seleccionada y el coeficiente de determinación r^2 , el cual indica la bondad del ajuste ($0 \leq r^2 \leq 1$). Se selecciona la función que dé el mayor valor de r^2 . [6]

c. Previsión para periodos futuros:

Una vez realizado el ajuste de la función, determinando sus coeficientes, la misma puede ahora utilizarse para estimar valores futuros de la demanda. Las funciones

exponenciales modificadas, logísticas y de Gompertz presentan un tercer coeficiente que representa un límite a la proyección del tráfico. Estas funciones pueden aplicarse a los casos en que se prevé una saturación de la demanda.

2.1.1.3 Ventajas y desventajas del método. Este método tiene la ventaja de ser simple y rápidamente aplicable y la desventaja de que no se identifican las causales de la variabilidad del tráfico, se trasladan al futuro las mismas causales sin saber si más allá del período de existencia de datos dichas causales seguirán teniendo el mismo efecto.

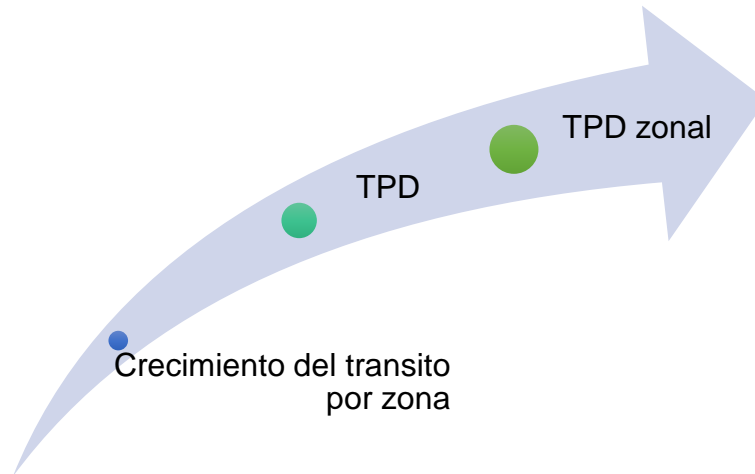
Este método sólo contempla los valores alcanzados históricamente por la variable que se desea proyectar y no toma en cuenta más que una variable independiente o exógena, el tiempo.

Para proyectar la variable se necesita conocer o estimar cómo evolucionarán las variables explicativas del modelo. Se requieren series históricas (no siempre disponibles) y un buen ajuste del modelo.

Cuando exista evidencia de que las condiciones que imperaron en el pasado no se mantendrán en el futuro, el método de extrapolación de tendencia no es aplicable, o por lo menos es riesgoso hacerlo.

2.1.1.4 Variables usadas en el método. Las variables independientes más usadas para realizar la extrapolación de tendencias se muestran en la figura 3.

Figura 8. Variables independientes para realizar la extrapolación de tendencias



Fuente: Autores del Proyecto.

a. Crecimiento del tránsito por zona:

La Tasa de Crecimiento o incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje. Se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolando la tendencia de los datos estadísticos, de la siguiente manera:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Donde:

- $TPDA_i$ es el tráfico promedio diario actual.
- $TPDA_0$ es el tráfico promedio actual del año base.
- n es la diferencia de años.

Esta tasa de crecimiento TC, se utiliza en cálculo de volúmenes de tránsito futuro usando el TPD, el método más común para la proyección del tránsito teniendo en cuenta el tráfico promedio diario (TPD) es la siguiente ecuación:

$$PDT_n = PDT_0 * (1 + TC)^n$$

Dónde:

- PDT_n = Volumen diario de vehículos para el año "n".
- PDT_0 = Volumen diario de vehículos para el año inicial del período considerado.
- n = Número de años del período considerado y.
- TC = Tasa de Crecimiento para el período de años en análisis, expresada en forma decimal.

Ver Anexo A (Ejercicio 1: proyección por medio del método de extrapolación de tendencias usando el crecimiento del tránsito por zona). [7]

b. TPD:

El TPD -Tráfico Promedio Diario, es reportado por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS, el cual permite medir la demanda actual en las vías, evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial y estimar áreas donde se requiera.

Su cálculo se basa en la realización de conteos manuales de tránsito en un semana del año, durante los siete días consecutivos las 24 horas del día en la misma época, con lo cual se evita sesgos temporales y se obtiene el volumen de tránsito vehicular en forma de TPD, su composición vehicular por tipo de vehículo, la desviación estándar y el total de camiones desagregado por categoría.

Para obtener una estimación de los volúmenes de tránsito futuro, sobretodo en carreteras, donde se cuenta con datos de series históricas de los volúmenes de tránsito promedio diario (TPD), se utilizan regresiones lineales y curvilíneas, tipos de recta, exponencial, potencial y logarítmica.

En un sistema de coordenadas se grafican las series históricas, tomando como variable independiente los años y como variable dependiente el TPD. El diagrama de dispersión define la curva que más encaja con los datos.

Para establecer el modelo que más se ajusta al crecimiento de la serie, se analizan los coeficientes de correlación y los factores de crecimiento anual resultantes. Se selecciona la función que dé el mayor valor de r^2 .

Como resultado del trabajo anterior se puede el Ver Anexo B (Ejercicio 2: proyección por medio del método de extrapolación de tendencias usando el tránsito promedio diario)

c. TPD zonal:

El proceso de planeación del transporte requiere el desarrollo de una secuencia de actividades que van desde la definición del área de estudio y el análisis de datos relacionados con la oferta, hasta la determinación de proyecciones de la demanda.

La base para desarrollar las predicciones de la demanda depende de la información que exista por área geográfica. Por lo anterior es conveniente subdividir el área de estudio en zonas geográficas donde sea posible mantener información a diferentes niveles de desagregación. La demanda de transporte se organiza y presenta usando el concepto de zonas de análisis de transporte.

Para cada zona se producen estimativos del número de toneladas o vehículos equivalentes que se atraen y generan. Estos volúmenes se mueven entre las zonas de tránsito a través de la infraestructura de oferta de los diferentes modos de transporte.

Los municipios son la base del sistema de zonas, ya que son las unidades geográficas mínimas para las cuales existen fuentes de información oficial en donde se proporcionan datos a este nivel de desagregación.

El objetivo de tener ésta unidad dentro del sistema, es que los datos se pueden captar a éste nivel y si es el caso agregarlos a cualquier otra categoría superior, dependiendo del análisis que se pretenda realizar y además representar de la mejor manera el comportamiento general del sistema de transporte intermodal.

Ver Anexo C (Ejercicio 3: proyección por medio del método de extrapolación de tendencias usando el tránsito promedio diario por zonas). [8]

2.1.2. Método de previsión econométrica.

2.1.2.1 Descripción del método. La Econometría es la disciplina que se ocupa de la cuantificación de los fenómenos económicos y de la verificación de las teorías económicas, con base en los datos que se disponen de las distintas variables y aplicando métodos específicos basados en la inferencia estadística, el vocablo econometría, procede del griego y significa “medida de la economía”

La econometría surge como disciplina con la necesidad de conocer mejor los fenómenos económicos en los países desarrollados en la década de los años treinta, en esta se concluyen la teoría económica, macro y micro, la estadística y la matemática.

Los desarrollos de J.M. Keynes, y en especial de la publicación de su Teoría General en 1936, aceleraron el proceso de medida de los fenómenos económicos, a su vez numerosos métodos estadísticos se desarrollaron por la necesidad de modelización económica, y ya que ambas disciplinas se complementaban, ocurrió

una confluencia de la teoría económica con la estadística, la cual dio origen a la econometría.

El nacimiento de la econometría como movimiento organizado se originó en diciembre de 1930 con la fundación de la Econometric Society, de la mano de Fisher, Frisch y Roos. Y se empezó a editar la revista Econométrica.

La filosofía que sustenta el movimiento econométrico queda reflejada en el artículo 1º de la Sociedad de Econometría:

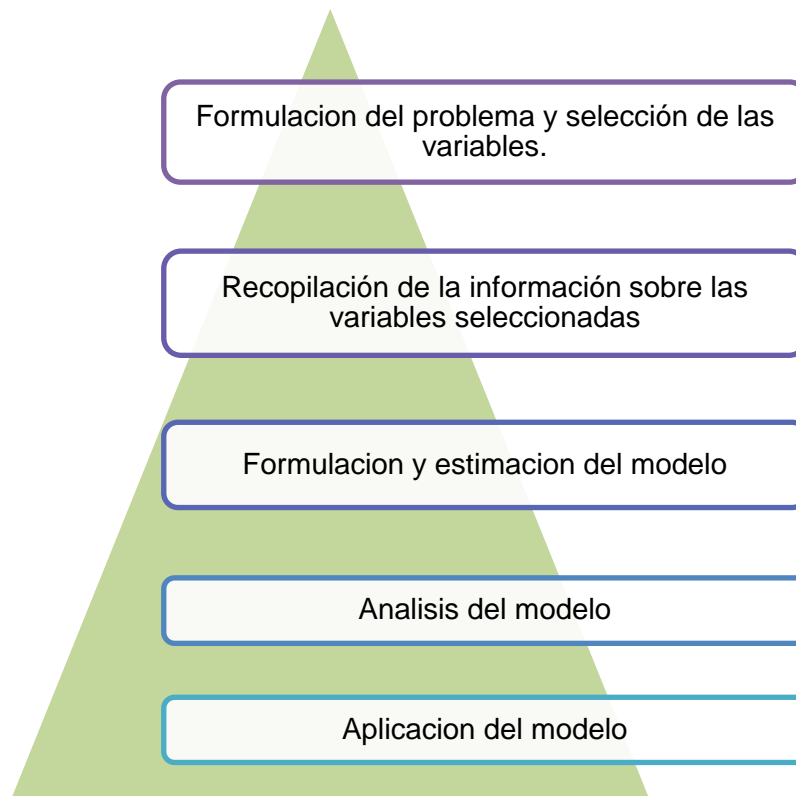
'La Sociedad de Econometría es una Sociedad Internacional para el progreso de la teoría económica en sus relaciones con la estadística y las matemáticas. Su objeto esencial es el favorecer los puntos de vista teórico y empírico en la exploración de los problemas económicos, estando inspirados dichos estudios en el estudio metódico y riguroso semejante al que ha prevalecido en las Ciencias Naturales. Toda actividad susceptible de favorecer mediata o inmediatamente tal unificación en los estudios económicos teóricos y empíricos cae sobre el campo de acción de la Sociedad.' [9]

El objetivo de los métodos econométricos consiste simultáneamente en expresar mediante una relación precisa y formal las vinculaciones existentes entre la demanda de un bien y otros fenómenos económicos y en establecer el grado de confianza que se puede tener respecto a dichas relaciones.

Pasos en un Estudio Econométrico:

Este método comprende las etapas que se muestran en la figura 4.

Figura 9. Etapas que comprende el método de la previsión econométrica



Fuente: Autores del Proyecto.

a. Formulación del problema y selección de variables:

Se trata de determinar la cuestión de interés. Debemos plantear de forma precisa las preguntas que nos interesa responder. Para que la teoría económica pueda utilizarse en un estudio econométrico necesita de una elaboración matemática que dé lugar a un modelo y en concreto, a un modelo econométrico.

b. Recopilación de la información:

Una vez que se ha especificado el modelo econométrico, se trata de buscar los datos apropiados, ya que se necesitan datos de cada una de las variables que entran en el modelo.

Los resultados del análisis van a depender en gran medida de la calidad de los datos. Sin embargo, no siempre es sencillo obtener los datos relevantes para el análisis.

Podemos encontrar problemas como la ausencia de algún dato, cambios en la definición de una variable, fallos en el método de recogida, tener una cantidad insuficiente de datos o no disponer de información relativa a una variable.

c. Formulación y estimación del modelo:

De la unión de las teorías y cuestiones planteadas en la primera etapa con los datos se llega a un modelo econométrico relevante y útil para dar respuesta a nuestros objetivos.

Una vez que se ha especificado el modelo y que se dispone de los datos adecuados de todas las variables, se pasa a la etapa de estimación del mismo. Consiste en medir empíricamente los parámetros que caracterizan el modelo y aquí entra la estadística, ya que existen parámetros desconocidos de la distribución y que son de interés para el análisis.

d. Análisis del modelo:

Se trata de estudiar si el modelo elegido es adecuado para recoger el comportamiento de los datos, es decir, que se ajuste al comportamiento de las variables. En la actualidad existe un amplio conjunto de paquetes para el análisis econométrico que realizan complejas operaciones mediante unas instrucciones muy sencillas. Si los datos están disponibles en papel, las hojas de cálculo, como EXCEL, son un instrumento sencillo para introducir y preparar los datos y realizar operaciones sencillas. Sin embargo, en general es conveniente utilizar programas econométricos específicos. Algunos de los más populares son:

- EViews.
- SHAZAM.
- Gretl.
- RATS.
- R.

Una vez que el modelo ha sido estimado usando las técnicas econométricas adecuadas, se verifica o valida el modelo. Se establecen criterios (gráficos y estadísticos) para rechazar o aceptar el modelo.

Aquí comienza un proceso iterativo en la modelización, ya que si no aceptamos un modelo, no lo usamos, sino que reformulamos el modelo teórico, o bien, tratamos de una forma más adecuada los datos. [10]

e. Aplicación del modelo:

Una vez obtenido un modelo correcto, se utiliza para responder a las cuestiones de interés.

2.1.2.2 Modelos y/o funciones matemáticas. Dependiendo de la cantidad de variables a usar, se puede aplicar el método de regresión simple o el método de regresión lineal múltiple.

a. Regresión lineal simple:

El modelo simple relaciona dos variables de forma lineal,

$$y = \alpha + \beta x_i + u_i \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Donde:

- Y es la variable a explicar, variable dependiente o endógena, es decir, la variable que estamos interesados en explicar.
- X es la variable explicativa, variable independiente o exógena.
- La ordenada α y la pendiente β del modelo son los coeficientes de la regresión. Si definimos K como el número de coeficientes desconocidos a estimar, en el modelo de regresión simple tenemos $K = 2$ coeficientes a estimar.
- u es el término de error, variable aleatoria o perturbación.
- El subíndice i denota observación. En general, el subíndice i sería empleado cuando la muestra contenga datos de sección cruzada y el subíndice t cuando tengamos observaciones correspondientes a series temporales, aunque esto no es de especial relevancia.
- N es el tamaño muestral, número de observaciones disponibles de las variables de estudio (x, y).

b. Regresión lineal múltiple:

El método de regresión lineal múltiple nos permite examinar el efecto marginal de una variable explicativa en particular, una vez hemos controlado por otras características recogidas en el resto de variables explicativas que mantenemos constantes. Básicamente, los modelos econométricos de demanda pueden ser de dos tipos:

- Modelo de regresión lineal general:

$$y = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i$$

Con elasticidades:

$$e_{xi} = \left(\frac{\partial y}{\partial y_{xi}} \right) \cdot \frac{x_i}{y} = \frac{\beta_1 \cdot x_i}{\beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, N.$$

El parámetro β_1 que acompaña al término constante recoge el valor esperado de la variable dependiente cuando el resto de variables explicativas toman el valor cero.

- Multiplicativa:

$$y = \beta_0 \cdot x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_k^{\alpha_k}$$

Con elasticidades:

$$e_{xi} = \alpha_i$$

Siendo y la demanda y x_i las variables explicativas.

Los modelos del tipo multiplicativo se linealizan aplicando logaritmos:

$$\log y = \log \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log x_1 + \dots + \alpha_k \cdot \log x_k$$

Ambos tipos de modelos se ajustan mediante técnicas de regresión lineal múltiple.

2.1.2.3 Ventajas y desventajas del método. Una característica del método econométrico para las previsiones a mediano y largo plazo es que la evolución de los factores causales subyacentes y del tránsito puede controlarse durante el periodo de previsión, con lo cual se posibilita la verificación de la suficiencia continua del modelo econométrico y se hacen los ajustes necesarios para la previsión si alguno de los factores evolucionara de un modo diferente con respecto a las hipótesis iniciales.

Las variables independientes deben ser seleccionadas dentro del conjunto de las que pueden ser fácilmente proyectadas, dado que en eso reside la principal ventaja de este método, que es la de poder proyectar una variable difícil de prever mediante variables fácilmente previsibles.

Y el problema consiste, por una parte, en predecir la evolución de las variables agregadas, y por otra parte determinar la expresión matemática que sirva para predecir tránsitos de manera confiable, lo que generalmente se lleva a cabo con ayuda de técnicas estadísticas. [11]

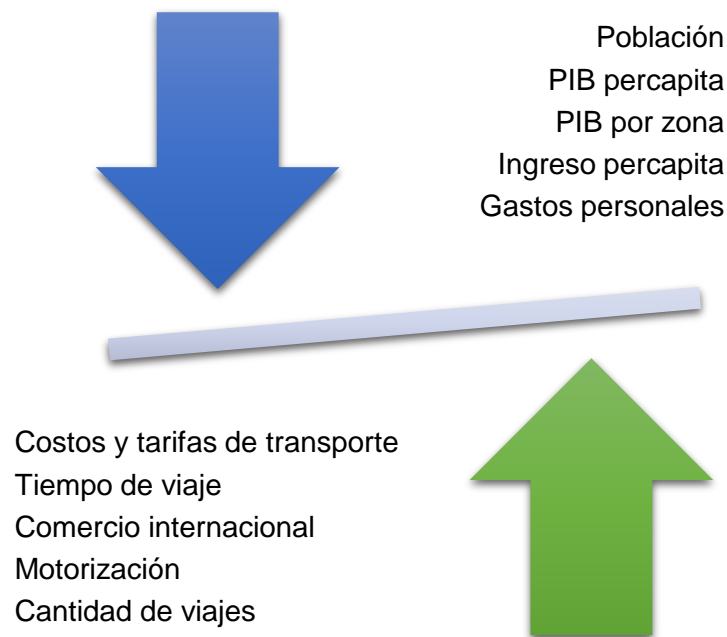
2.1.2.4 Variables usadas en el método. La previsión econométrica consiste en la relación funcional de una variable dependiente o endógena, en este caso la demanda, con un determinado número de variables independientes, en este caso llamadas variables explicativas o exógenas.

La elección de las variables exógenas del modelo depende de la naturaleza del bien cuya demanda se proyecta y del tipo de variaciones que se trata de explicar.

La población, el ingreso por habitante, la variación de los precios, constituyen algunas de las variables que se suele explorar para construir los modelos de pronóstico a largo plazo de la demanda.

La elección definitiva de las variables depende del horizonte de previsión y de la posibilidad de pronosticar con un mínimo de precisión, los valores futuros de las variables explicativas. En la figura 5 se muestran las variables explicativas o exógenas más usadas en este método.

Figura 10. Variables explicativas o exógenas



Fuente: Autores del Proyecto.

a. Población:

- Factor de crecimiento:

Los volúmenes de tránsito futuro para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual y del incremento del tránsito. La ingeniería de tránsito no cuenta con un valor que refleje el crecimiento vehicular futuro; por lo que para realizar la proyección del tránsito futuro se toman parámetros que puedan proporcionar datos representativos, como son el crecimiento demográfico ya que con el

aumento de la población se crea una mayor demanda de viajes y a este se le asocia el factor de crecimiento económico.

Las proyecciones de población son las del DANE; las proyecciones por municipios se agregan al nivel de zona de tráfico, para los años horizonte.

- Método aplicado para la elaboración de las proyecciones de población:

Los procedimientos utilizados para la elaboración de las proyecciones de población son muy variados y responden a diversos grados de complejidad, en función de nuevos métodos y técnicas de estimación, desarrollos informáticos, y a las también nuevas y variadas condiciones y necesidades de la sociedad.

Colombia parte de una población base equivalente a 42.888.592 a junio 30 de 2005 y se prevé que para el año 2020 será 50.912.429 habitantes. Lo anterior, significa que se tienen una tasa de crecimiento promedio anual de 1,25 por cien habitantes en el periodo 2000-2005 el cual disminuye quinquenio a quinquenio hasta llegar a una tasa del 1,09 por cien habitantes en el quinquenio 2015-2020. En Colombia las proyecciones de población son publicadas por el DANE. [12], [13]

b. PIB per cápita:

El PIB está definido como el valor agregado de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un período de tiempo y ayuda a medir el crecimiento o decrecimiento de la producción de éstos durante ciclos determinados.

El PIB per cápita es el producto interno bruto dividido por la población a mitad de año, es decir que este se estima sobre la base de las proyecciones del PIB a nivel departamental y de la población correspondiente. Por no tener datos a un nivel

más fino, se admite que el PIB/cápita es igual en todas las poblaciones que conforman un departamento. [14]

Este indicador es calculado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y es fundamental para evaluar el crecimiento, la evolución y la estructura de la economía colombiana y la capacidad de ésta para usar eficientemente los recursos disponibles para la producción. [15]

c. PIB por zona:

A partir de las dos variables anteriores se puede estimar el PBI por municipio (Población x PIB/cápita) y desde luego por zona de tráfico, y por año horizonte (Es el año al que se va a proyectar el proyecto). Se calculan las tasas compuestas de crecimiento del PIB por zona y por periodo.

d. Ingreso per cápita:

El ingreso hace referencia a todas las entradas económicas que recibe una persona, una familia, una empresa, una organización, etc.

El ingreso per cápita tiene una estrecha relación con el ingreso nacional y se realiza para determinar el ingreso que recibe, en promedio, cada uno de los habitantes de un país; es decir, en promedio, cuánto es el ingreso que recibe una persona para subsistir.

Su cálculo es importante cuando se quiere estudiar el nivel de vida promedio de la población y permite establecer comparaciones entre diferentes países y, por consiguiente, establecer el ritmo de progreso de cada país. El ingreso per cápita se obtiene dividiendo el ingreso nacional entre la población total de un país. [16]

$$\text{Ingreso per cápita} = \text{Ingreso nacional (IN)} / \text{Población total (PT)}$$

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE se encarga de publicar el dato del ingreso per cápita.

e. Gastos personales:

El gasto de consumo final de los hogares (anteriormente, consumo privado) es el valor de mercado de todos los bienes y servicios, incluidos los productos durables (tales como autos, máquinas lavadoras y computadoras personales), comprados por los hogares. Quedan excluidas las compras de viviendas, pero incluye la renta imputada de las viviendas ocupadas por sus propietarios. También incluye los montos y aranceles pagados a los gobiernos para obtener permisos y licencias.

f. Costos y tarifas de transporte:

- Costos de operación vehicular:

Los costos de operación vehicular por kilómetro, se calculan utilizando los promedios ponderados presentados por el Instituto Nacional de Vías.

Se debe tener en cuenta cuatro aspectos significativos, de acuerdo a:

- Tipo de vehículo (autos, buses y camiones).
- Tipo de terreno (plano, ondulado y montañoso).
- Tipo de superficie (pavimentada y sin pavimentar).
- Estado de la vía (buena – regular – mala).

g. Tiempo de viaje:

A menudo, la eficiencia de sistemas de tránsito se evalúa en términos de velocidad de los vehículos. La expresión de velocidad media en una vía es la velocidad media de viaje, que se calcula como la distancia de viaje dividida por el tiempo promedio de viaje de varios viajes sobre la vía en estudio.

Los propósitos de los estudios de tiempos de viaje y estudios de demora son para evaluar la calidad del movimiento de tránsito a lo largo de una ruta y para determinar la ubicación, tipo y alcance de las demoras de tránsito. [17]

A continuación se presenta una lista de aplicaciones para la información de tiempos de viaje y demoras:

- Determinación de la eficiencia de una ruta para mover tránsito.
- Identificación de localidades congestionadas en los sistemas viales.
- Definición de la congestión acorde a la localidad, tipo de demora, la duración y la frecuencia de la fricción de tránsito.
- Evaluación de las mejoras al tránsito mediante el uso de estudios de "antes y después".
- Cálculo de costos del usuario en la evaluación económica de vías y mejoras al tránsito.
- Establecimiento de las tendencias de las velocidades de viaje mediante el muestreo de rutas principales.
- Cálculo de volúmenes de servicio y capacidades para tránsito discontinuo.
- Establecimiento de velocidades o tiempos de viaje a lo largo de segmentos para la aplicación de modelos de distribución de viajes y/o asignación de viajes en planeación de transporte.[18]

h. Cantidad de viajes:

Corresponde a los movimientos origen - destino por grupo de productos entre las distintas zonas del país. Para conformar las matrices origen - destino de carga a nivel nacional para el año base, se utiliza la Encuesta O/D de la Dirección General de Transporte y Tránsito Automotor Ministerio de Transporte.

El número de viajes sirve para calcular la distancia media, la cual se calcula como el cociente entre el total de kilómetros sobre el número de viajes.

i. Motorización:

- Preferencia de la motorización:

La preferencia de la motorización está determinada porque los medios de transporte masivo (trenes, tranvías, autobuses) se convirtieron inicialmente en factores de desarrollo urbano sin planificación.

Posteriormente si se tuvo como algo inherente a la planificación, no solo respecto a barrios periféricos sino también en la proyección de importantes vías arterias.

Esta preferencia inicial por lo automotor se debió a que en todos los países después de la segunda guerra mundial³ hubo una agresiva presencia en la calle de los automóviles, se hipnotizaron los ciudadanos con el automóvil; y esto planteó tareas colosales para la solución del tráfico.

Además, al crecer horizontalmente las grandes ciudades, se aumentó la dependencia del vehículo de motor. En esta perspectiva el transporte era un tema para planificadores no para constitucionalistas. Y la ciudad se comenzó a diseñar

para los automotores (casos Camberra y Brasilia); se decía que ésta era la solución perfecta e integral. [19]

j. Comercio internacional:

El flujo de comercio exterior corresponde a los movimientos origen – destino por grupo de productos entre las zonas del país y el resto de mundo.

- Exportaciones:

Para modelar las exportaciones se tiene en cuenta la propensión media a exportar (EXP/PIB). Como no se espera que el comportamiento futuro de las exportaciones esté relacionado con su dinámica histórica ni tampoco que éstas evolucionen de acuerdo con las relaciones de transición de los últimos años, es difícil definir un modelo que permita predecir las exportaciones basándose en las observaciones históricas.

Se toman como fuentes de información las estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. [20]

- Importaciones:

El comportamiento de las importaciones en el futuro está relacionado con el supuesto de equilibrio de la balanza comercial en el largo plazo, por lo cual se modela la relación de importaciones y exportaciones de acuerdo con una tendencia en el tiempo.

El dato de carga de comercio exterior, exportaciones e importaciones se obtiene de las matrices o/d de comercio exterior, para lo cual se toma información de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN.

2.2.3. Método de proyección de la Demanda mediante elasticidades [21]

2.2.3.1 Descripción del método. Se trata de un modelo del tipo de factor de crecimiento, es decir que la demanda futura se determina a partir del tráfico actual. Este método se basa en dos hipótesis:

- Que el tráfico crecerá según una ley continua de tipo exponencial y
- Que la tasa de crecimiento del flujo de tráfico entre dos zonas será igual a la media aritmética de las tasas de crecimiento de la generación de viajes de cada una de las zonas.

2.2.3.2 Modelos y/o funciones matemáticas. La ley de crecimiento es la siguiente:

Formula 1:

$$t_{ijn} = t_{ij0} \cdot \left[1 + \frac{r_i + r_j}{2} \right]^n$$

Siendo:

- t_{ijn} = flujo de tráfico entre las zonas i y j en el año n.
- t_{ij0} = flujo de tráfico entre las zonas i y j en el año base.
- r_i = tasa de crecimiento de la generación de tráfico de carga o pasajeros de la zona i.
- r_j = tasa de crecimiento de la generación de tráfico de carga o pasajeros de la zona j.

En el caso en que dentro del período de análisis se prevea la existencia de más de un período de crecimiento, el modelo se plantea de la siguiente manera:

Fórmula 2:

$$t_{ijn} = t_{ij0} \cdot \prod_{k=1}^m \left[1 + \frac{r_{ik} + r_{jk}}{2} \right]^{n_k} ; \quad n = \sum_{k=1}^m n_k$$

Donde:

- m = número de períodos de crecimiento dentro del período de análisis.
- n = duración del período de análisis.
- n_k = duración de cada período de crecimiento.
- r_{ik} y r_{jk} = tasas de crecimiento, carga o pasajeros, para las zonas i y j en el período de crecimiento k .

- Tasas de crecimiento a partir de su relación con el Producto Bruto Zonal:

Las tasas de crecimiento zonales para la generación de viajes de cargas y pasajeros se determinarán a partir del concepto de elasticidad de la demanda de transporte con respecto a variables macroeconómicas.

En el caso del transporte de cargas el tráfico generado por cada zona es la suma de dos componentes:

- Volumen físico de los bienes producidos en la zona y exportados a otras zonas.
- Volumen físico de los bienes importados a la zona para satisfacer los requerimientos faltantes de bienes de consumo, materias primas y maquinarias.

El cálculo de la elasticidad es de gran importancia para la determinación de estos volúmenes, ya que el cálculo de estos requiere de estudios muy profundos y detallados, así pues, la elasticidad de la demanda se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E_{ci} = \frac{dt_{ci}/t_{ci}}{dPB_i/PB_i} = \frac{dt_{ci}}{dPB_i} \cdot \frac{PB_i}{t_{ci}} = \frac{r_{ci}}{r_{PB_i}}$$

Donde:

- E_{ci} = elasticidad de la demanda de tráfico de cargas en relación al Producto Bruto Zonal de la zona i.
- t_{ci} = tráfico de cargas generado por la zona en un período anual.
- PB_i = Producto Bruto Zonal anual de la zona i.
- dt_{ci} o dPB_i = variación absoluta anual de las variables definidas.
- r_{ci} = tasa de crecimiento anual del tráfico de cargas generado por la zona i.
- r_{PB_i} = tasa de crecimiento anual del Producto Bruto Zonal de la zona i.

A partir de la expresión anterior se obtiene que:

$$r_{ci} = E_{ci} \cdot r_{PB_i}$$

El valor de la elasticidad E_{ci} , aquí expresado por zona, tiene valores que son válidos para una región o país. De acuerdo a estudios econométricos realizados a partir de series de tránsito de camiones y PBI, el valor de esta elasticidad está en el orden la unidad ($E_{ci} = 1$), oscilando entre 0,8 y 1,2.

Para el caso del tráfico de pasajeros se establece la siguiente relación:

$$E_{pi} = \frac{r_{pi}}{r_{yi}}$$

Siendo:

- E_{pi} = elasticidad de la demanda per cápita de viajes de pasajeros en relación al ingreso per cápita.
- r_{pi} = tasa de crecimiento anual del tráfico de pasajeros per cápita generado por la zona i.
- r_{yi} = tasa de crecimiento anual del ingreso per cápita de la zona i.

La tasa de crecimiento del total de viajes de pasajeros generado por la zona i será:

$$r_{PTi} = (1 + r_{pi}) \cdot (1 + r_{Hi}) - 1$$

Reemplazando, simplificando y despreciando el producto de tasas se tiene:

$$r_{PTi} = r_{Hi} + E_{pi} \cdot r_{yi}$$

Donde:

- r_{PTi} = tasa de crecimiento del total de viajes de pasajeros generado por la zona i.
- r_{Hi} = tasa de crecimiento de la población de la zona i.

También podrá expresarse:

$$r_{PBi} = (1 + r_{yi}) \cdot (1 + r_{Hi}) - 1$$

$$r_{yi} = \frac{1 + r_{yi}}{1 + r_{Hi}} - 1$$

Los valores de la elasticidad a aplicar para la proyección del tráfico interurbano de pasajeros dependen del tipo de pasajeros, modo de transporte y motivo de viaje. A título de ejemplo se muestran los siguientes valores:

- Automóviles y camionetas: Ep está entre 1,00 y 1,40 (para todo motivo).
- Ómnibus y ferrocarril: Ep está entre 0,80 y 1,00 (para todo motivo).
- Transporte aéreo: Ep está entre 1,40 y 2,5, según tipo de tráfico (internacional o cabotaje) y motivo de viaje.

Las tasas de crecimiento del tráfico de carga y pasajeros así calculadas son introducidas en la fórmula 1 o 2 y de esa manera se obtiene el tráfico futuro.

2.2.3.3 Ventajas y desventajas del método. Los flujos de transporte entre dos zonas son de dos categorías, bien diferenciadas: carga y pasajeros. Los factores que afectan la proyección del tráfico son los siguientes:

- Modo de transporte, en ambas categorías.
- Propósito de viaje, en el caso de pasajeros.

Debido a que en este método se toman datos actuales, se tiene como desventaja que no se tiene en cuenta el comportamiento de los datos en el pasado, pero la ventaja es que la información es actual y fácil de obtener, además que se tienen en cuenta por separado la información de carga de la de pasajeros.

2.2.3.4 Variables usadas en el método. En la mayor parte de los casos la variable flujo de tráfico (t_{ij}) se debe analizar separadamente por categoría (carga y pasajeros), por modo de transporte y por motivo.

a. Motivo de viaje:

El factor motivo de viaje afecta a los flujos interurbanos de pasajeros en menor grado que a los flujos urbanos, por lo que en ciertos casos pudiera no ser tomado en cuenta, pero el factor que no puede ser desechado es el modo de transporte, que en el caso de pasajeros adquiere mayor importancia.

En el caso de las cargas, las tasas de crecimiento dependen fundamentalmente de la producción y consumo de bienes y a veces puede independizarse del modo de transporte.

b. Modos de transporte:

Cuando en el corredor existan varios modos de transporte las unidades de tráfico deberán estar expresadas en las mismas unidades, variando dichas unidades si se trata de pasajeros o cargas.

Por ejemplo si existieran los modos ferroviario y carretero, los flujos de carga deberán estar expresados en toneladas o camiones equivalentes y los de pasajeros en personas u ómnibus equivalentes, para cada par origen – destino.

3. ANALISIS COMPARATIVO

Teniendo en cuenta la información obtenida acerca de los métodos de proyección de tránsito más comunes en Colombia (Ver Anexo D), se realizó un análisis comparativo, en el cual se exponen las diferencias y semejanzas entre los métodos estudiados. Así pues, la elección de uno u otro método para realizar las proyecciones del tránsito, se realiza en función de los datos y/o condiciones del lugar donde se van a aplicar.

Por ello, si se observa que la tendencia de los datos y/o condiciones que imperaron en el pasado se mantendrán en el futuro, cabe aplicar el método de extrapolación de tendencias, ya que este se basa principalmente en determinar la tendencia con que ha evolucionado el tránsito y proyectarla al futuro.

Por otro lado, cuando exista evidencia de que las condiciones del tránsito no se mantendrán en el futuro, se debe aplicar el método de previsión econométrica, ya que en este método se tiene en cuenta diversas variables.

Pero existe un problema con el método de la previsión econométrica, el cual se basa en la dificultad para predecir la evolución de las variables a emplear en el método, a la vez que se dificulta determinar una expresión matemática que sirva para predecir el futuro del tránsito de una manera confiable. Mientras que el método de extrapolación de tendencias es simple, fácil y rápidamente aplicable.

El método de la demanda mediante elasticidades se determina a partir del tráfico actual, lo cual trae como desventaja que no se tiene en cuenta el comportamiento de las variables en el pasado, pero tiene como ventaja que se emplean datos actuales, los cuales son fácil de obtener.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este artículo se han explicado los métodos más empleados para realizar las proyecciones del tránsito en Colombia. La información consignada denota que el método a aplicar se basa principalmente en el comportamiento de las variables necesarias en cada método así como de la disponibilidad, calidad, acceso y comportamiento de dichas variables.

En los casos en que se evalúa la tendencia con que evolucionó el tráfico en el pasado para proyectar dicha tendencia al futuro, se debe emplear el método de extrapolación de tendencias, ya que en este la variable empleada es el tránsito promedio diario (TPD) y crecimiento demográfico, para lo cual se realiza una extrapolación basada en la tendencia de los datos en el pasado, así pues este método consiste en tomar datos del pasado, analizarlos y definir una función matemática que los describa con el fin de obtener los resultados de la demanda del tránsito en el futuro.

Pero este método solo se emplea si se tiene la certeza de que la tendencia del comportamiento de los datos en el pasado se va a conservar en el futuro. En caso contrario, se debe aplicar el método de previsión econométrica, el cual consiste simultáneamente en expresar mediante una relación precisa y formal las vinculaciones existentes entre la demanda de un bien y otros fenómenos económicos y en establecer el grado de confianza que se puede tener respecto a dichas relaciones, para lo cual se tiene en cuenta variables como el PIB por zona, PIB per cápita, Población, Ingreso per cápita, Gastos personales, Costos y tarifas de transporte, Tiempo de viaje, Comercio internacional, Motorización y Cantidad de viajes, entre otras, de las cuales se toma el valor proyectado al año en el que se desea conocer la demanda de transporte, se hallan los valores de correlación y

la elasticidad y se ingresan a una función matemática de la cual se obtiene la demanda en el año deseado.

Mientras los dos métodos anteriores, se basan en series históricas, método de la demanda mediante elasticidades se determina a partir del tráfico actual, teniendo en cuenta que los factores que afectan la proyección del tráfico son el modo de transporte (para carga y pasajeros) y propósito de viaje (solo de pasajeros).

Por último, se concluye que el método de la previsión econométrica es el más confiable, debido a que en este se establecen criterios (gráficos y estadísticos) para rechazar o aceptar el modelo y se lleva a cabo un proceso iterativo en la modelización, teniendo en cuenta el comportamiento de las variables en el pasado y una elasticidad basada en que el comportamiento de dichas variables puede cambiar, pero la eficacia y el resultado de las proyecciones así se emplee cualquiera de los tres métodos, depende de la calidad y a la disponibilidad de la información con la que se cuente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PROCESO DIRECCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN. “Proposición No. 003 puntos críticos de accidentalidad”. [Disponible en]: <http://www.concejodebucaramanga.gov.co> [Consultado en]: Marzo 13 de 2014.
- [2] GIRARDOTTI, Luis. “Previsión de la demanda en corredores”. [Disponible en]: <http://materias.fi.uba.ar/6808/contenidos/DemandaCorredores.pdf> [Consultado en]: Abril 19 de 2014.
- [3] MINISTERIO DE TRANSPORTE, Oficina asesora de planeación. Anuario estadístico de transporte 2009.
- [4] CÁRDENAS GRISALES, James. “El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real”. [Disponible en]: <http://revistas.udistrital.edu.co> [Consultado en]: Abril 28 de 2014.
- [5] FONADE. “INFORME EJECUTIVO DE PROYECCIONES DE TRÁNSITO PARA LA VICTORIA TEMPRANA”. [Disponible en]: <https://fftp.ani.gov.co> [Consultado en]: Junio 04 de 2014.
- [6] PORTEIRO, Julio Cesar. “Análisis y proyección de la demanda en los estudios de factibilidad”. [Disponible en]: <http://www.ccee.edu.uy> [Consultado en]: Junio 07 de 2014.
- [7] NAVARRO HUDIEL, Sergio. “Volúmenes de tránsito”. [Disponible en]: <http://es.slideshare.net> [Consultado en]: Junio 15 de 2014.

[8] MINISTERIO DE TRANSPORTE, Oficina asesora de planeación. Anuario estadístico de transporte 2013.

[9] CARIDAD y OCERIN, J.M. “Econometría y predicción económica en el siglo XX”. [Disponible en]: <http://helvia.uco.es> [Consultado en]: Junio 27 de 2014.

[10] ESTEBAN, María Victoria; MORAL, María Paz; ORBE, Susan; REGULEZ, Marta; ZARRAGA, Ainhoa; ZUBIA, Marian. “Econometría aplicada con Gretl”. [Disponible en]: <http://www.et.bs> [Consultado en]: Julio 15 de 2014.

[11] SOTOCA LÓPEZ, Sonia. “Material de ECONOMETRIA I”. [Disponible en]: www.ucm.es [Consultado en]: Julio 27 de 2014.

[12] DANE. “Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020” [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 30 de 2014.

[13] DANE. “Demografía y población, proyecciones de población” [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 08 de 2014.

[14] EL BANCO MUNDIAL. “PIB per cápita (US\$ a precios actuales)”. [Disponible en]: <http://datos.bancomundial.org> [Consultado en]: Agosto 08 de 2014.

[15] DANE. “PIB per cápita corrientes y constantes 2000 - 2007P”, [Disponible en]: <http://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 09 de 2014.

[16] BIBLIOTECA VIRTUAL. BIBLIOTECA LUIS ÁNGEL ARANGO. “Ingreso per cápita”. [Disponible en]: <http://www.banrepcultural.org> [Consultado en]: Agosto 10 de 2014.

[17] RODA, Pablo. “Estudio de tráfico vías para la prosperidad”. [Disponible en]: <https://Fftp.ani.gov.co> [Consultado en]: Agosto 20 de 2014.

[18] SECRETARIA DEL DESARROLLO SOCIAL, SEDESOL. “Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas”. [Disponible en]: <http://www.bvsde.paho.org> [Consultado en]: Septiembre 03 de 2014.

[19] FORO DE TRANSPORTE SOSTENIBLE FTS DE AMERICA LATINA. “Transporte sostenible para América Latina: Situación actual y perspectivas”. [Disponible en]: <http://www10.iadb.org> [Consultado en]: Septiembre 05 de 2014.

[20] DANE. “Comercio exterior - Exportaciones”. [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Septiembre 05 de 2014.

[21] GIRARDOTTI, Luis. “Previsión de la demanda en corredores”. [Disponible en]: <http://materias.fi.uba> [Consultado en]: Septiembre 05 de 2014.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOTECA VIRTUAL. BIBLIOTECA LUIS ÁNGEL ARANGO. “Ingreso per cápita”. [Disponible en]: <http://www.banrepcultural.org> [Consultado en]: Agosto 10 de 2014.

CÁRDENAS GRISALES, James. “El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real”. [Disponible en]: <http://revistas.udistrital.edu.co> [Consultado en]: Abril 28 de 2014.

CARIDAD y OCERIN, J.M. “Econometría y predicción económica en el siglo XX”. [Disponible en]: <http://helvia.uco.es> [Consultado en]: Junio 27 de 2014.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). “Comercio exterior - Exportaciones”. [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Septiembre 05 de 2014.

_____. “Demografía y población, proyecciones de población” [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 08 de 2014.

_____. “PIB per cápita corrientes y constantes 2000 - 2007P”, [Disponible en]: <http://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 09 de 2014.

_____. “Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020” [Disponible en]: <https://www.dane.gov.co> [Consultado en]: Agosto 30 de 2014.

EL BANCO MUNDIAL. “PIB per cápita (US\$ a precios actuales)”. [Disponible en]: <http://datos.bancomundial.org> [Consultado en]: Agosto 08 de 2014.

ESTEBAN, María Victoria; MORAL, María Paz; ORBE, Susan; REGULEZ, Marta; ZARRAGA, Ainhoa; ZUBIA, Marian. “Econometría aplicada con Gretl”. [Disponible en]: <http://www.et.bs> [Consultado en]: Julio 15 de 2014.

FONADE. “INFORME EJECUTIVO DE PROYECCIONES DE TRÁNSITO PARA LA VICTORIA TEMPRANA”. [Disponible en]: <https://fftp.ani.gov.co> [Consultado en]: Junio 04 de 2014.

FORO DE TRANSPORTE SOSTENIBLE FTS DE AMERICA LATINA. “Transporte sostenible para América Latina: Situación actual y perspectivas”. [Disponible en]: <http://www10.iadb.org> [Consultado en]: Septiembre 05 de 2014.

GIRARDOTTI, Luis. “Previsión de la demanda en corredores”. [Disponible en]: <http://materias.fi.uba.ar/6808/contenidos/DemandaCorredores.pdf> [Consultado en]: Abril 19 de 2014.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Oficina asesora de planeación. Anuario estadístico de transporte 2009.

_____. Oficina Asesora de Planeación. Anuario estadístico de transporte 2013.

NAVARRO HUDIEL, Sergio. “Volúmenes de tránsito”. [Disponible en]: <http://es.slideshare.net> [Consultado en]: Junio 15 de 2014.

PORTEIRO, Julio Cesar. “Análisis y proyección de la demanda en los estudios de factibilidad”. [Disponible en]: <http://www.ccee.edu.uy> [Consultado en]: Junio 07 de 2014.

PROCESO DIRECCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN. “Proposición No. 003 puntos críticos de accidentalidad”. [Disponible en]: <http://www.concejodebucaramanga.gov.co> [Consultado en]: Marzo 13 de 2014.

RODA, Pablo. “Estudio de tráfico vías para la prosperidad”. [Disponible en]: <https://Fftp.ani.gov.co> [Consultado en]: Agosto 20 de 2014.

SECRETARIA DEL DESARROLLO SOCIAL, SEDESOL. “Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas”. [Disponible en]: <http://www.bvsde.paho.org> [Consultado en]: Septiembre 03 de 2014.

SOTOCA LÓPEZ, Sonia. “Material de ECONOMETRIA I”. [Disponible en]: www.ucm.es [Consultado en]: Julio 27 de 2014.

ANEXOS

ANEXO A.

**EJERCICIO 1: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE
EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL CRECIMIENTO DEL
TRÁNSITO POR ZONA**

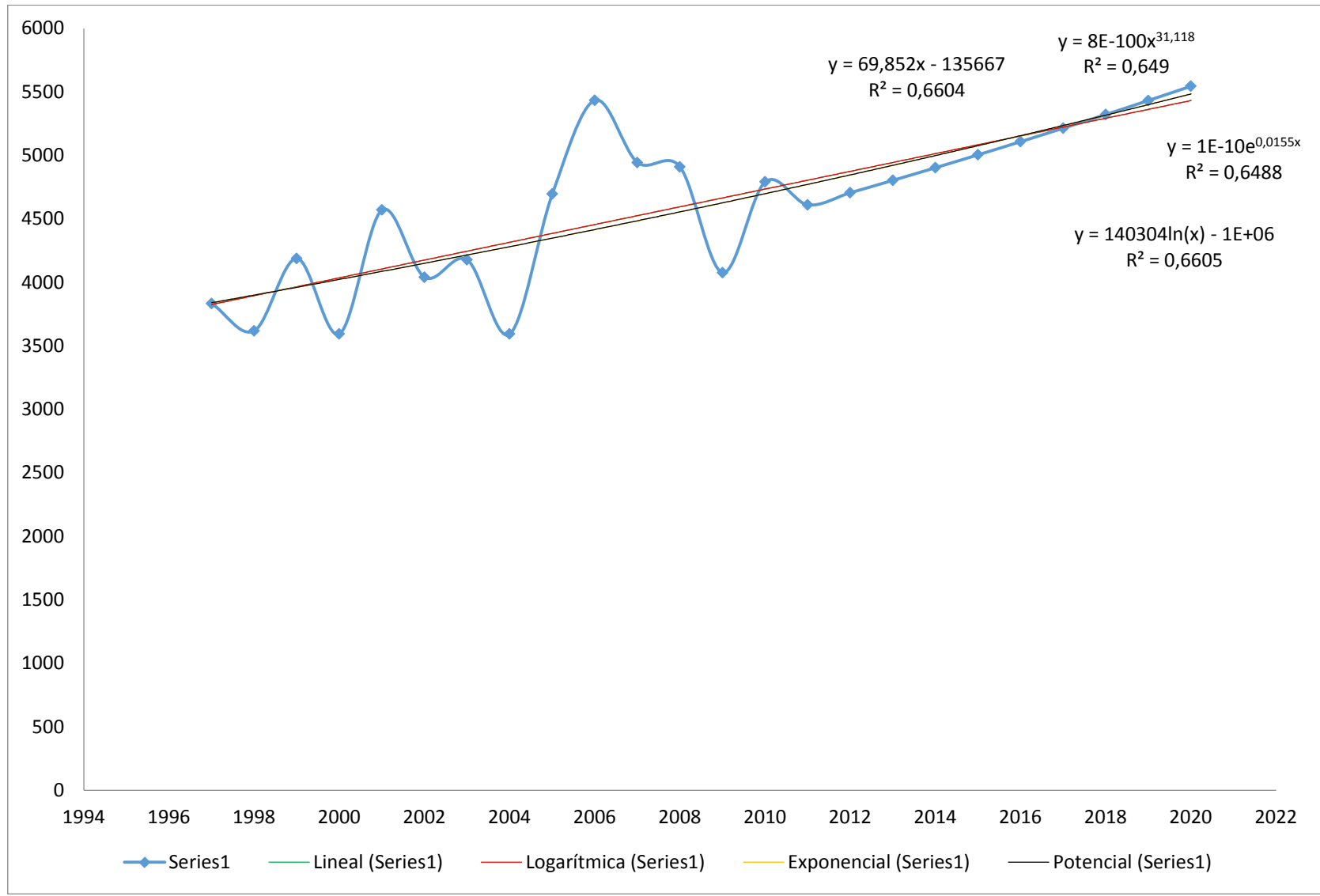
$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$$

$$PDT_n = PDT_0 * (1 + TC)^n$$

TC= 0,02071566

ESTACION 158	
AÑO	TPD-BUCARAMANGA-RIO NEGRO
1997	3834
1998	3619
1999	4189
2000	3595
2001	4571
2002	4041
2003	4178
2004	3594

ESTACION 158	
AÑO	TPD-BUCARAMANGA-RIO NEGRO
2005	4697
2006	5435
2007	4944
2008	4909
2009	4077
2010	4792
2011	4611
2012	4706,52
2013	4804,02
2014	4903,54
2015	5005,12
2016	5108,80
2017	5214,63
2018	5322,66
2019	5432,92
2020	5545,47

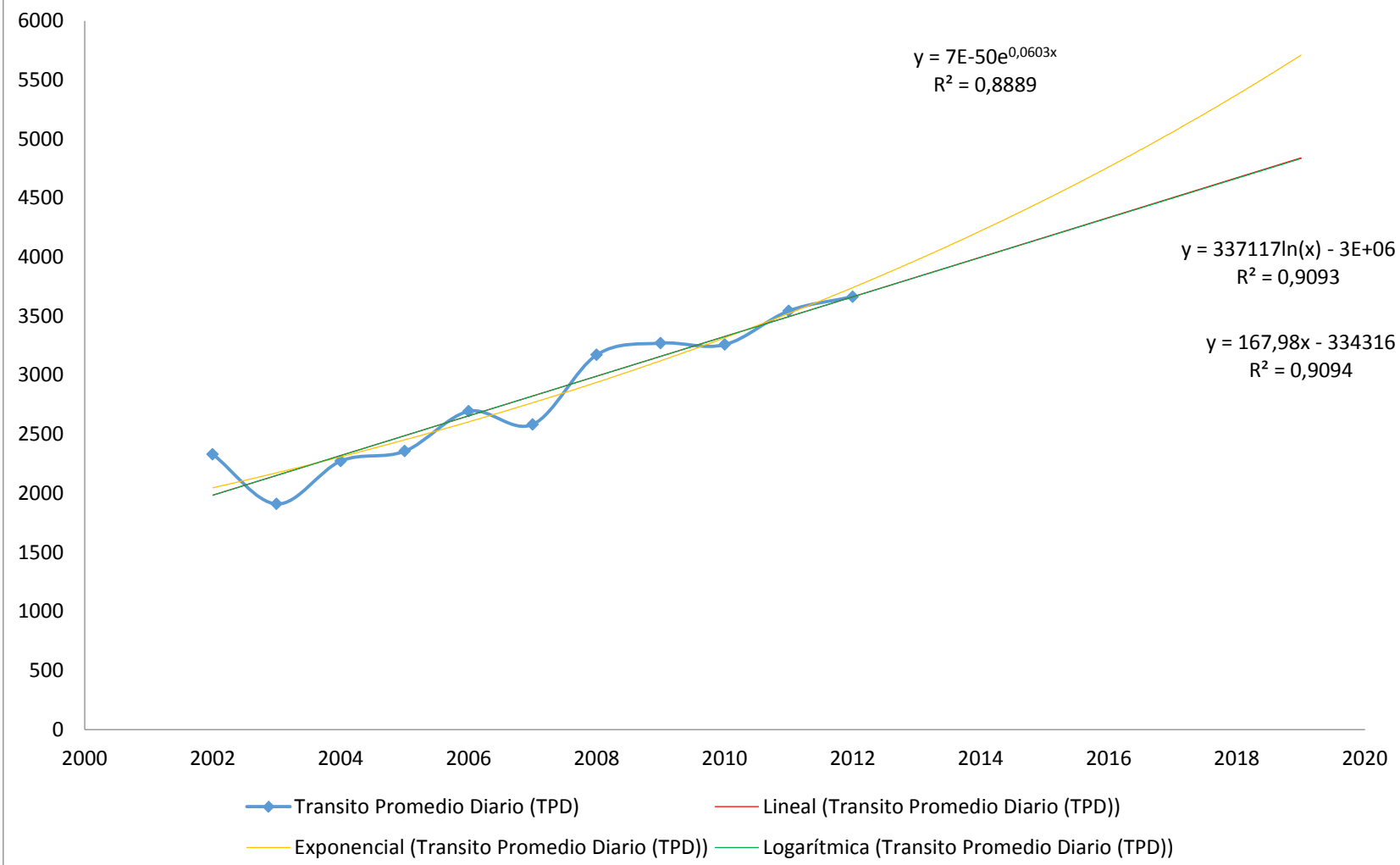


ANEXO B.

**EJERCICIO 2: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE
EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL TRANSITO PROMEDIO
DIARIO**

AÑO	Tránsito Promedio Diario (TPD)
2002	2330
2003	1910
2004	2274
2005	2357
2006	2695
2007	2584
2008	3173
2009	3272
2010	3259
2011	3545
2012	3665
2013	ND

Proyección Tránsito Promedio Diario (TPD)

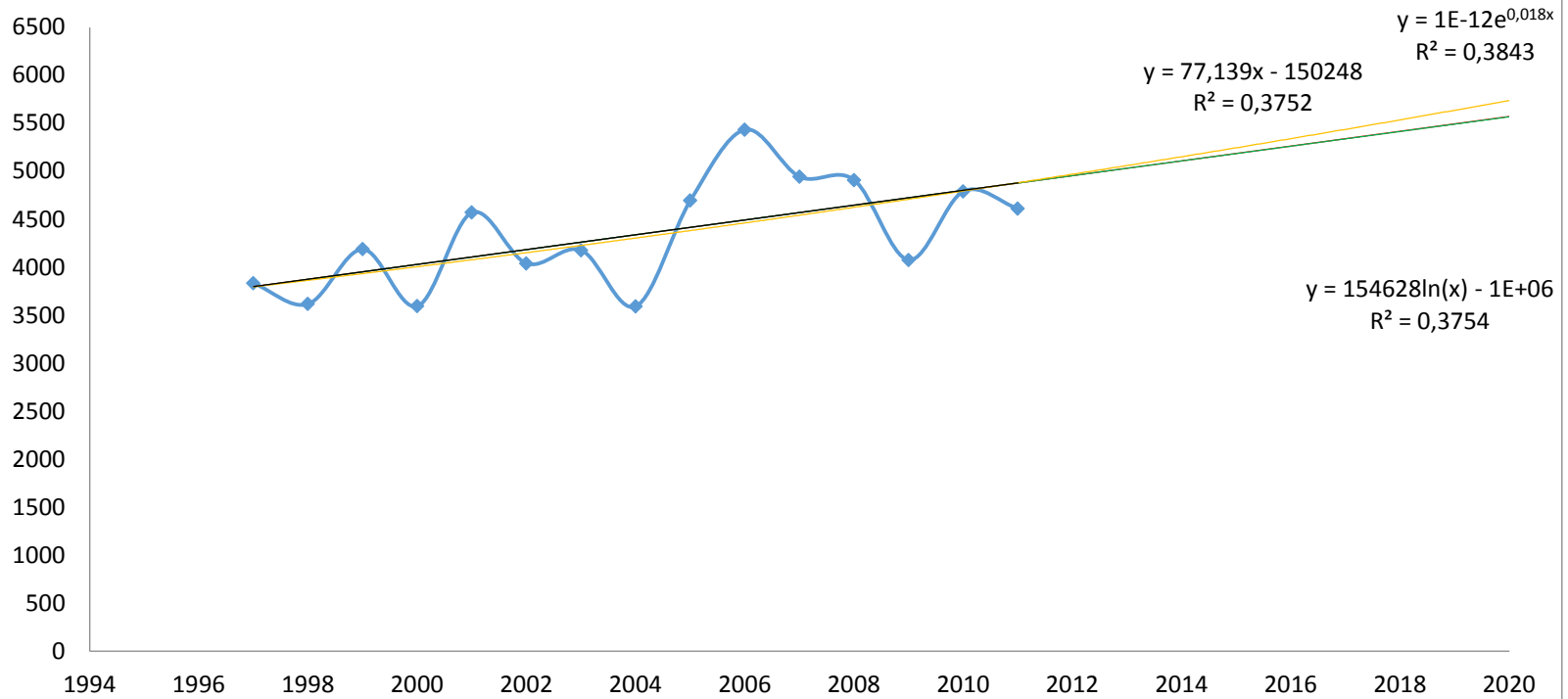


ANEXO C.

**EJERCICIO 3: PROYECCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE
EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS USANDO EL TRANSITO PROMEDIO
DIARIO ZONA**

ESTACION 158	
AÑO	TPD-BUCARAMANGA-RIO NEGRO
1997	3834
1998	3619
1999	4189
2000	3595
2001	4571
2002	4041
2003	4178
2004	3594
2005	4697
2006	5435
2007	4944
2008	4909
2009	4077
2010	4792
2011	4611

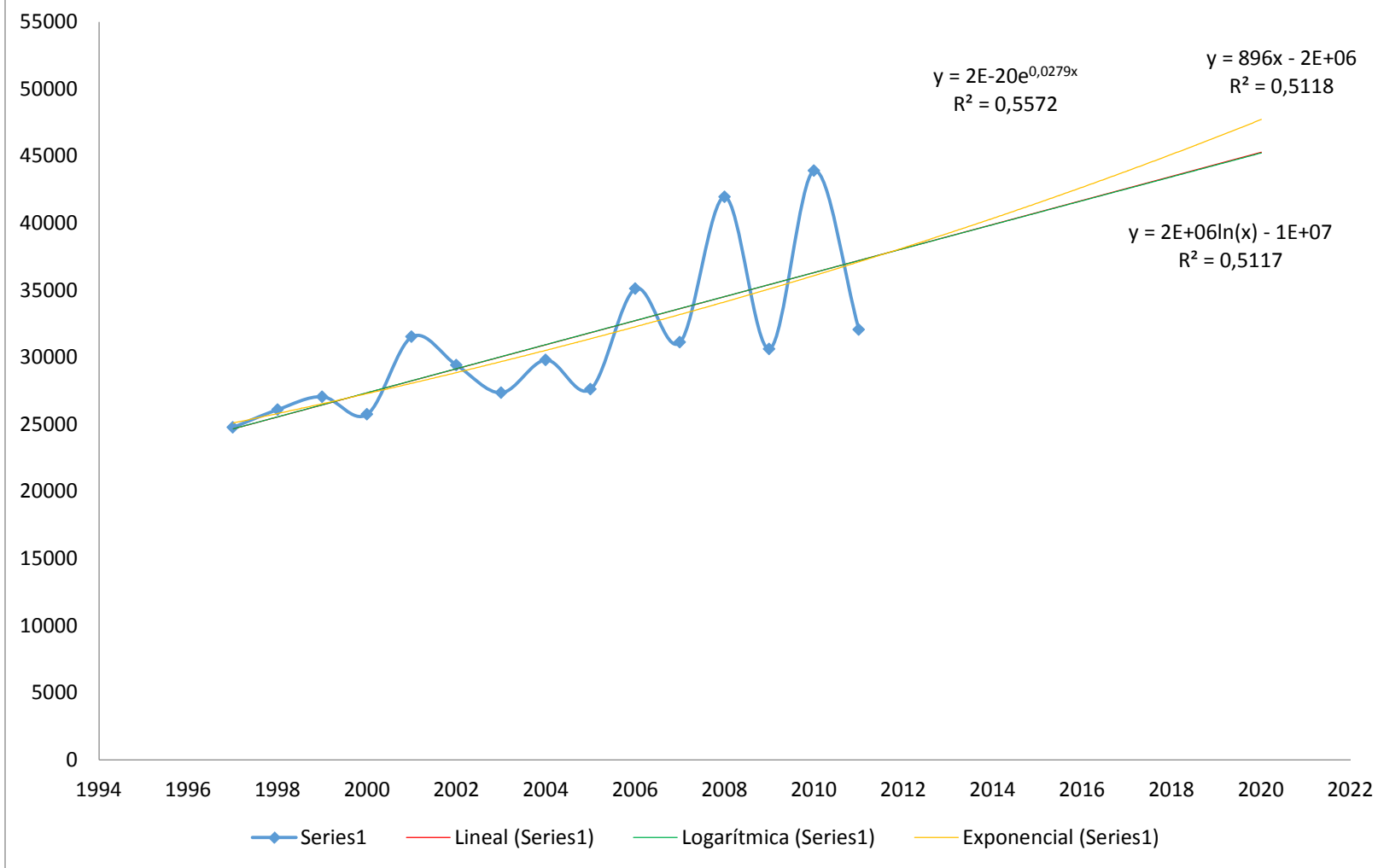
Proyección TPD-Bucaramanga-Río Negro



◆ Series1
 — Lineal (Series1)
 — Logarítmica (Series1)
 — Exponencial (Series1)
 — Lineal (Series1)

ESTACION 191	
AÑO	CUCUTA-VILLA DEL ROSARIO
1997	24777
1998	26106
1999	27064
2000	25752
2001	31529
2002	29414
2003	27358
2004	29801
2005	27635
2006	35112
2007	31120
2008	41949
2009	30627
2010	43911
2011	32063

Proyección TPD-Cúcuta-Villa del Rosario



ANEXO D.

CUADRO-RESUMEN DE LOS MÉTODOS MÁS USADOS EN COLOMBIA PARA REALIZAR PROYECCIONES DE TRANSITO

	DESCRIPCION	APLICACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	VARIABLES	INFORMACIÓN DISPONIBLE
EXTRAPOLACION DE TENDENCIAS	La tendencia se define como el movimiento uniforme de una serie cronológica, así pues la extrapolación de tendencias consiste en determinar la tendencia con que	La hipótesis implica que en los años venideros los cambios de las variables que determinan la demanda se comportarán – en término medio – igual a como lo hicieron en	Este método tiene la ventaja de ser simple y rápidamente aplicable y la desventaja de que no se identifican las causales de la variabilidad del tráfico, se trasladan al futuro las mismas causales sin saber si más allá del	Crecimiento del tránsito por zonas	INVIAS
				TPD	INVIAS
				TPD zonal	INVIAS

	DESCRIPCION	APLICACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	VARIABLES	INFORMACIÓN DISPONIBLE
	<p>evolució el tráfico en el pasado y proyectar dicha tendencia al futuro.</p>	<p>el pasado y, por lo tanto, sus efectos serán similares a los registrados históricamente. Se aplica si se puede asumir la futura permanencia de las condiciones pasadas.</p>	<p>período de existencia de datos dichas causales seguirán teniendo el mismo efecto. Este método sólo contempla los valores alcanzados históricamente por la variable que se desea proyectar y no toma en cuenta más que una variable independiente o exógena, el tiempo.</p>		

	DESCRIPCION	APLICACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	VARIABLES	INFORMACIÓN DISPONIBLE
PREVISION ECONOMETRICA	El objetivo de los métodos econométricos consiste simultáneamente en expresar mediante una relación precisa y formal las vinculaciones existentes entre la demanda de un bien y otros fenómenos económicos y en establecer el grado	Cuando exista evidencia de que las condiciones que imperaron en el pasado no se mantendrán en el futuro, el método de extrapolación de tendencia no es aplicable, o por lo menos es riesgoso hacerlo, aquí se aplica la previsión econométrica.	Tiene como ventaja poder proyectar una variable difícil de prever mediante variables fácilmente previsibles. Pero el problema consiste, por una parte, en predecir la evolución de las variables agregadas, y por otra parte determinar la expresión matemática que sirva para predecir tránsitos de manera	PIB por zona	DANE
				PIB per cápita	DANE
				Población	DANE
				Ingreso per cápita	DANE
				Gastos personales	
				Costos y tarifas de transporte	

	DESCRIPCION	APLICACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	VARIABLES	INFORMACIÓN DISPONIBLE
	de confianza que se puede tener respecto a dichas relaciones.		confiable, lo que generalmente se lleva a cabo con ayuda de técnicas estadísticas.	Tiempo de viaje	
				Comercio internacional	
				Motorización	TRANSPORTE EN CIFRAS
				Cantidad de viajes	

	DESCRIPCION	APLICACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	VARIABLES	INFORMACIÓN DISPONIBLE
DEMANDA MEDIANTE ELASTICIDADES	Se trata de un modelo del tipo de <i>factor de crecimiento</i> , es decir que la demanda futura se determina a partir del tráfico actual.	Este método se basa en dos hipótesis: Que el tráfico crecerá según una ley continúa de tipo exponencial y que la tasa de crecimiento del flujo de tráfico entre dos zonas será igual a la media aritmética de las tasas de crecimiento de la generación de viajes de cada una de las zonas.	Debido a que en este método se toman datos actuales, se tiene como desventaja que no se tiene en cuenta el comportamiento de los datos en el pasado, pero la ventaja es que la información es actual y fácil de obtener, además que se tienen en cuenta por separado la información de carga de la de pasajeros.	Modo de transporte de carga y pasajeros.	TRANSPORTE EN CIFRAS
				Propósito de viaje de los pasajeros.	TRANSPORTE EN CIFRAS