

**Reporte sobre Datos de Actividad y  
Consumo de Combustible por Categoría  
Vehicular en la ZMVM, (2002-2020).**



**Agosto, 2005**

## **I. Abstract**

The transport model, TRANUS, has been applied to estimate changes in vehicular activity (Vehicle Kilometers Traveled or VKT) in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) from the virtual implementation of a 33 corridor Bus Rapid Transit (BRT) system. This model has been widely used internationally in the integrated analysis of land use and transport for urban and regional scales. The TRANUS model simulates the probable effects of urban and regional projects and policies, evaluated from a social, economic, financial and energetic point of view.

For this study, three modes of transportation were considered: private, public and freight. This project builds on previous work, done by the consulting firm ETEISA, which applied and calibrated the TRANUS model for the MCMA to evaluate the virtual construction of a BRT corridor on Eje 8 Sur. The model was input with information on population, employment, income, road infrastructure, transport network, vehicular fleet among other information to characterize the population, economy, and transportation system of the MCMA.

Results for the study period (2002-2020) were obtained for the baseline projections based on assumptions on population and economic growth, as well as some specific modification for the corridors Eje 8 Sur and Insurgentes, as incorporated by the firm ETEISA for the project "Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor estratégico eje 8 sur" (ETEISA, 2004).

The introduction of new articulated buses was also considered as part of the new BRT network, offering regular service with stops at each station and an assumed average speed between 25 and 27 km/hr (ETEISA, 2004). Only one corridor (Eje 8 Sur) was contemplated to offer additional Express service, with stops at a reduced number of stations and an average speed of 32 km/hr.

It was assumed that the introduction of the BRT corridors would begin in 2005, with the construction of the Insurgentes corridor, and Eje 8 Sur in 2006. Remaining corridors were assumed to be constructed 5 each year, from 2007 to 2011, and finally six corridors in 2012.

Results on VKT were obtained by type of vehicle at different speeds, and their fuel consumption was calculated for the study period (2002 – 2020) for the baseline and the BRT scenario.

This information will be used, in combination with emissions factors from the previous report, to estimate the change in emissions of local and global pollutants from the construction of a 33 corridor BRT system in the MCMA.

## II. Resumen

Para la estimación de la actividad vehicular (kilómetros recorridos) en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), bajo las consideraciones específicas de dos escenarios de modelación cuya diferencia básica es la virtual implantación de un sistema de 33 corredores de transporte público, se utilizó el modelo de transporte TRANUS, el cual ha sido ampliamente usado a nivel internacional en el análisis integral de localización de actividades, usos del suelo y transporte tanto a escala regional como urbana. Este modelo se encuentra orientado a la simulación de los efectos probables de la aplicación de políticas y proyectos diversos en ciudades o regiones, y evaluarlos desde un punto de vista social, económico, financiero y energético.

En este estudio se consideraron los modos de transporte: particular, público y carga. Tomando ventaja del hecho de que se contaba con una versión del modelo que previamente había sido calibrada y aplicada en la ZMVM por la empresa consultora ETEISA para evaluar el impacto de la virtual implantación del corredor estratégico Eje 8 sur (ETEISA, 2004).

Para su aplicación el modelo fue alimentado con información sobre población, empleo, ingreso económico, infraestructura vial, red de transporte, flota vehicular y en general información de diferentes fuentes que permitieron caracterizar las condiciones urbanísticas, económicas, de transporte y población de la ZMVM.

Los resultados para el periodo de análisis (2002-2020) fueron obtenidos sobre la base de las proyecciones existentes en torno al crecimiento poblacional y económico, así como sobre algunas consideraciones específicas respecto a la adición, modificación y/o eliminación de rutas sobre los corredores Eje 8 Sur e Insurgentes ya incluidas en la versión de TRANUS calibrado para su aplicación en el proyecto "Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor estratégico eje 8 sur" (ETEISA 2004).

Adicionalmente se consideró la introducción de vehículos articulados nuevos para circular dentro de los corredores de transporte, ofreciendo en todos ellos un servicio de transporte denominado Normal o corriente que se caracteriza por tener paradas en todas las estaciones y una velocidad de circulación de entre 25 a 27 km/hr, de acuerdo al valor de diseño aplicado en estudios previos en la ZMVM (ETEISA 2004). Adicionalmente, sólo en uno de los corredores considerados (Eje 8 Sur), se contempló un servicio de transporte adicional denominado Expreso, el cual tiene como principales características paradas es estaciones específicas y una velocidad de circulación de 32 km/hr.

La introducción de los corredores se asumió que iniciaría en el 2005 con la entrada en operación del corredor de Insurgentes. Igualmente se supuso el inicio de operaciones del corredor eje 8 Sur en 2006 y posteriormente la integración anual de cinco corredores de 2007 a 2011, y finalmente seis corredores en 2012.

Se obtuvieron como resultados los kilómetros recorridos por tipo de vehículo a diferentes velocidades de circulación y los consumos de combustible asociados en el periodo 2002 – 2020 tanto bajo las condiciones del escenario que no contempla la implantación de los corredores como de aquel que si lo hace.

Esta información será utilizada junto con los factores de emisión, estimados en una fase previa de este estudio, para calcular los cambios en las emisiones de contaminantes locales y de efecto invernadero debido a la introducción de 33 corredores confinados de transporte público en la ZMVM.

# INDICE

I. Abstract .....	2
II. Resumen .....	3
III. Introducción .....	5
IV. Metodología .....	8
IV.1 Adaptación de TRANUS para vehículos privados y públicos .....	8
IV.1.1 Localización de actividades y uso de suelo .....	8
IV.1.2 Características del sistema de transporte .....	12
IV.1.3 Hipótesis de crecimiento .....	20
IV.1.4 Periodo de simulación .....	23
IV.2 Adaptación de TRANUS para vehículos de carga .....	23
IV.2.1 Hipótesis de crecimiento .....	30
IV.3 Estimación de consumo de combustible .....	30
IV.4 Calibración del modelo .....	33
IV.5 Escenarios evaluados .....	34
IV.5.1. Escenario 1 (Sin corredores) .....	35
IV.5.2. Escenario 2 (Con corredores) .....	35
V. Resultados .....	41
V.1. Actividad Vehicular (Kilómetros recorridos) .....	41
V.1.1. Vehículos particulares.....	41
V.1.2. Vehículos de transporte público .....	46
V.1.3. Vehículos de carga .....	72
V.2. Consumo de combustible .....	76
V.2.1. Vehículos a Gasolina .....	76
V.2.2. Vehículos a Diesel .....	78
VI. Conclusiones .....	79
VII. Bibliografía .....	81
VII. Anexos electrónicos	
Anexo I. Cartografía .....	CD 1
Anexo II. Zonificación del área de estudio.....	CD 1
Anexo III. CdMéxico.tuz .....	CD 2
Anexo IV. Datos socioeconómicos .....	CD 2
Anexo V. Red de transporte .....	CD 2
Anexo VI. Rutas.exe .....	CD 2
Anexo VII. Nodos.exe .....	CD 2
Anexo VIII. Enlaces.exe .....	CD 2
Anexo IX. Aforos vehiculares 2003 .....	CD 3
Anexo X. Crecimiento por zona (Escenario 1) .....	CD 2
Anexo XI. Reportes ETEISA-GETINSA .....	CD 2
Anexo XII. Distancia y demanda .....	CD 2
Anexo XIII. Crecimiento por zonas (Escenario 2) .....	CD 2
Anexo XIV. Análisis de Rutas .....	CD 2
Anexo XV. Archivos de salida de TRANUS .....	CD 4

### III. Introducción

De acuerdo a las técnicas utilizadas para la estimación de emisiones en fuentes móviles, se requiere de un factor de emisión característico de la flota vehicular a modelar y de los datos de actividad asociados a dicha flota. En este reporte se presenta tanto la metodología y supuestos empleados en la estimación del dato de actividad como los resultados obtenidos bajo las consideraciones de dos escenarios: 1) Sin la virtual implementación de una serie de corredores estratégicos en la ZMVM, y; 2) Con su virtual implementación.

La actividad vehicular se refiere propiamente a la distancia recorrida por un vehículo, así como a la forma en como el vehículo realizó dicho recorrido. Generalmente los datos de actividad se encuentran expresados en términos de distancia recorrida por unidad de tiempo. Para la estimación de este dato frecuentemente se utilizan modelos de transporte, que son herramientas matemáticas de amplio uso en el proceso de planificación del transporte, dado que permiten dar respuesta a preguntas tales como (Maldonado, 1992):

- ¿Cuál será la red de metro que mejor puede atender a la demanda actual y futura de una población?
- ¿Cómo funcionará una nueva línea de metro, tranvía o autobús en una red existente?
- ¿Cómo funcionará una red arterial en una población urbana?
- ¿Cuál será el efecto de un cinturón de circunvalación o una variante en el tráfico urbano?
- ¿Cómo incidirá en el tráfico el cierre o peatonalización de una vía?
- ¿Cuál será la mejor alternativa de actuación en un corredor entre las diversas posibilidades existentes: desdoblamiento, variantes de núcleos urbanos, etc.?

Algunos de los modelos de transporte que más se utilizan en la elaboración de estudios de impacto vial y otros vinculados con el tema del flujo de tránsito en una ciudad son: TRANSYT, SIDRA, PERQT, SATURN, EMM2, y TRANUS.

En general, cada modelo tiene una función específica, así por ejemplo TRANSYT, EMM2 y TRANUS sirve para proyectos de redes de transporte; SIDRA para evaluar el tránsito en intersecciones aisladas; PERQT estudia la periodización de los flujos de tránsito para la determinación y análisis de las horas pico y, finalmente SATURN se utiliza para estudiar los cambios de demandas de flujo vehicular (Maldonado, 1992).

De entre la gama existente de modelos de transporte, en este trabajo se decidió utilizar el modelo TRANUS, debido a que se tenía el antecedente de su aplicación reciente en la ZMVM.

TRANUS es un modelo que se emplea en el análisis integral de localización de actividades, usos del suelo y transporte, que puede ser aplicado tanto a escala regional como urbana. El modelo se encuentra orientado a la simulación de los efectos probables de la aplicación de políticas y proyectos diversos en ciudades o regiones, y evaluarlos desde un punto de vista social, económico, financiero y energético.

La característica más destacable de este modelo es la forma integrada en que se representan los principales componentes del sistema urbano o regional, tales como la localización e interacción de actividades, el mercado inmobiliario y el sistema de transporte. Todos estos componentes están relacionados entre sí de manera explícita, de acuerdo a una teoría claramente desarrollada para este fin. De esta manera el fenómeno del movimiento de personas y mercancías se explica por las relaciones económicas y espaciales entre las actividades que los generan.

Un sistema integrado de esta naturaleza permite evaluar los efectos de políticas de transporte sobre la localización de actividades y el uso del suelo. Asimismo es posible analizar los efectos de políticas de usos del suelo sobre el sistema de transporte, y naturalmente el efecto de políticas combinadas. El enfoque integrado permite, además, estimar matrices origen-destino de viajes a un costo reducido. La alternativa es utilizar una muestra pequeña para calibrar el modelo y con ello construir analíticamente las matrices.

Algunas de las aplicaciones específicas incluyen la evaluación de:

1. Creación de nuevas vialidades
2. Mejoras a la vialidad existente
3. Reorganización del sistema de transporte público
4. Vías exclusivas para autobuses
5. Sistemas de transporte masivo de pasajeros, etc.

### ***Estructura general y funcionamiento de TRANUS***

Los componentes principales del modelo son: *ACTIVIDADES* y *TRANSPORTE*. Dentro de cada uno de estos subsistemas se distinguen los elementos de *demanda* y de *oferta*, los cuales interactúan para generar un estado de equilibrio (Figura 1).

La localización e interacción entre actividades representa la *demanda* en el subsistema de *ACTIVIDADES*. Actividades, tales como industrias u hogares, se localizan en lugares específicos e interactúan entre sí para llevar a cabo sus funciones. Las actividades también requieren suelo y edificaciones para su funcionamiento, espacio que proveen los promotores inmobiliarios y que por lo tanto representan el sector *oferta*. La interacción entre ambos debe conducir a un estado de equilibrio. Si la demanda por espacio sobrepasa la oferta en algún lugar específico, los precios inmobiliarios se incrementarán para reducir la demanda. Los precios o *rentas* inmobiliarias representan, por lo tanto, el elemento variable que conduce al sistema hacia un estado de equilibrio.

La interacción entre actividades genera necesidades de viaje que son atendidas de acuerdo a la infraestructura vial y red de transporte existente en el área a estudiar. Así, en el subsistema de *TRANSPORTE*, la *demanda* está representada por las necesidades de transporte, que puede tomar la forma de personas viajando a sus sitios de trabajo o mercancías producidas en un lugar y consumidas en otro. En la *oferta* de transporte, se hace una distinción entre la oferta física y la oferta operativa. La oferta física está constituida por la infraestructura en forma de red, compuesta por carreteras, vías férreas, rutas marítimas, y cualquier otro componente relevante. La oferta operativa está formada por un conjunto de operadores que proveen los servicios de transporte, tales como rutas de autobuses, empresas de camiones, aerolíneas, e incluso el automóvil particular, etc. La oferta operativa utiliza a la oferta física para proveer sus servicios.

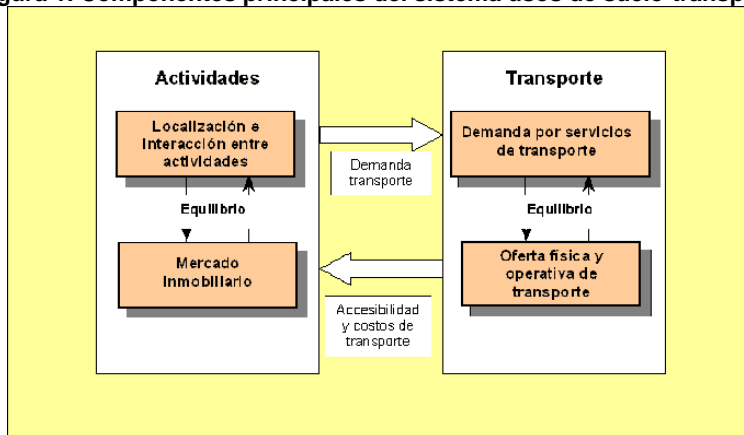
El equilibrio entre demanda y oferta de transporte se alcanza mediante una combinación de dos elementos: precios y tiempo. Si la demanda sobrepasa la capacidad de un servicio, el precio del servicio puede aumentar, pero puede ser que el tiempo de viaje también se incremente. Por ejemplo, si el número de pasajeros que intenta abordar un servicio de autobuses sobrepasa su capacidad, los tiempos de espera se incrementarán. De manera similar, si el número de vehículos que intentan circular en una vía se acerca o sobrepasa la capacidad, se genera congestión, reduciendo la velocidad. En otras palabras, el tiempo es un componente importante en el equilibrio demanda-oferta del sistema de transporte.

El resultado de este equilibrio se sintetiza en el concepto de *accesibilidad*<sup>1</sup>, que representa la forma en que el sistema de transporte inhibe las interacciones entre actividades. En consecuencia, la accesibilidad retroalimenta al subsistema de actividades, afectando la localización e interacción y los precios de equilibrio en el mercado inmobiliario. Como se trata de una función de costos, la accesibilidad se llama también *desutilidad de transporte*.

Como puede verse, los dos componentes principales de TRANUS: ACTIVIDADES y TRANSPORTE, se relacionan en una estructura dinámica. Ambos se influyen a través del tiempo. Las actividades económicas localizadas en el espacio interactúan entre sí generando flujos (de personas y mercancías), de los cuales se deriva la demanda de transporte. La demanda se asigna a la oferta de transporte y el equilibrio demanda/oferta de transporte, afecta la localización de actividades y los precios inmobiliarios. Como resultado de este proceso, un cambio en el transporte, como una nueva autopista o un sistema de transporte masivo, tendrá un efecto inmediato en la demanda de viajes y afectará los flujos económicos. Por su parte, los cambios en el sistema de actividades, tales como incrementos de producción en determinados sectores, una nueva oferta de suelo o inversiones en edificios, tendrá un efecto inmediato sobre los flujos y la demanda de transporte.

Una descripción detallada de los procesos específicos que son considerados tanto en la localización de actividades como en transporte y la interacción entre ellos, al igual que la formulación matemática y programas de cálculo de TRANUS puede ser consultada en: <http://www.modelistica.com>.

**Figura 1. Componentes principales del sistema usos de suelo-transporte**



<sup>1</sup> *Accesibilidad o desutilidad de transporte*: es un indicador de la disponibilidad de transporte y vías de comunicación entre zonas y que por tanto también es un indicador del nivel de interacción de actividades entre zonas.

Este modelo fue calibrado en el 2004 para su aplicación en la ZMVM, cuando la empresa consultora ETEISA evaluó, por encargo de las Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, los efectos en emisiones generados por la virtual entrada en operación del corredor estratégico Eje 8 Sur (ETEISA 2004).

#### **IV. Metodología**

En esta sección se refieren de manera general los trabajos realizados por la empresa consultora ETEISA para adaptar el modelo TRANUS a las características urbanísticas, económicas, de transporte y población de la Zona Metropolitana del Valle de México para su aplicación en el marco del proyecto "Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor eje 8 sur", en el que se evaluaron los impactos generados por la virtual introducción del corredor de Eje 8 Sur. Ello debido a que dicho estudio fue la base para la realización de este trabajo.

Adicionalmente se describen las adecuaciones necesarias para utilizar el trabajo desarrollado por ETEISA en la evaluación de los escenarios de interés de este proyecto y la metodología empleada para estimar el consumo de combustible asociado al kilometraje recorrido por cada categoría vehicular de acuerdo a las condiciones de cada escenario evaluado.

##### **IV.1 Adaptación de TRANUS para vehículos privados y públicos**

En general, la información requerida para una aplicación de TRANUS puede ser agregada en dos categorías: 1) Localización de actividades y Uso de suelo, y; 2) Características del sistema de transporte. Por ello la siguiente descripción atenderá a este orden.

###### *IV.1.1 Localización de Actividades y Uso de suelo*

Todo proceso de planificación y/o evaluación de transporte tiene lógicamente una referencia espacial donde se localizan las infraestructuras y los servicios o actividades que se planifican. Por ello la tarea inicial en este tipo de trabajos es la delimitación del área de estudio y su zonificación. Así, en este trabajo el área de estudio comprendió las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal, 40 municipios del Estado de México y 1 del Estado de Hidalgo (Figura 2). A esta región geográfica se le denominó, para efectos de este trabajo, como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Cabe destacar que para definir esta área de estudio se tomó en cuenta el área de influencia de la infraestructura vial y de transporte utilizada como base en este trabajo.

Una vez definida el área de estudio se procedió a dividirla en zonas. Una zona es una entidad en la base de datos que lleva información asociada, como por ejemplo, población, empleo, suelo, ingreso, etc., y por ello la zonificación del área de estudio es una actividad muy importante, pues define el nivel de detalle del modelo, en términos de representación de la oferta y demanda de transporte.

**Figura 2. Área de estudio.**



La zonificación realizada en este estudio tomó como base la información existente de estudios previos, buscando congruencia en la información de las diferentes fuentes. Se tomó, sin embargo, como principal referencia la zonificación utilizada en la Encuesta Origen – Destino realizada por INEGI en 1994, la cual incluyó en su área de toma de muestra las 16 delegaciones del Distrito Federal y 28 municipios del Estado de México.

Toda la información que entregó la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Distrito Federal a la empresa consultora ETEISA para llevar a cabo la zonificación del área en el marco del proyecto “Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor eje 8 sur”, es presentada en el Anexo I (Cartografía) de este reporte. Un primer análisis de esta información hecho por el Centro de Instrumentos de la UNAM, puede ser consultado en el documento “Planeación Estratégica de Transporte con Utilización del Programa EMME/2”, incluido en este mismo Anexo en una carpeta que tiene por nombre UNAM\_2002. Este mismo documento puede ser usado como referencia para decodificar los nombres de las variables incluidas en cada archivo de este anexo.

A partir de la información antes referida, ETEISA definió para este trabajo 298 zonas internas y 6 zonas externas, cuya cartografía está conformada por dos capas de

información: las AGEB<sup>2</sup>, que son la unidad básica para la toma de información socioeconómica en áreas urbanas y la traza urbana acompañada de la denominación de calles y avenidas. El listado completo de las zonas definidas en este estudio y algunos datos adicionales como nombre, identificador y coordenadas geográficas, son incluidos en el Anexo II (Zonificación del área de estudio), de este documento.

Las zonas internas y externas reciben un tratamiento diferente durante la modelación. Las zonas internas conforman lo que se denomina “el área en estudio”; entre ellas se dan todas las relaciones socio-económicas y de transporte. Las zonas externas, en cambio, están restringidas a representar algunas relaciones del área en estudio con otras áreas, como son las importaciones y exportaciones. Estas pueden ser de bienes o de personas, como es el caso de la demanda laboral del área de estudio que se satisface con residentes de fuera. También se pueden definir zonas externas sólo para ser utilizadas en el modelo de transporte en la representación de viajes externos y de paso.

Una vez sectorizada la zona a modelar, se descargó información socioeconómica del área de estudio para caracterizar la localización de actividades. En general, la economía de un área cualquiera se puede representar a través de sectores, los cuales pueden ser económicos (agricultura, industria, minería, gobierno, etc), factores (trabajo, capital) ó elementos físicos (suelo, superficie construida), y se puede medir en diversas unidades (monetarias, físicas, empleos, hectáreas, etc.). En el caso concreto de este trabajo los sectores considerados fueron:

- 1) Manufactura
- 2) Comercio
- 3) Servicio
- 4) Población estratos altos (más de cinco salarios mínimos)
- 5) Población estratos medios (entre dos y cinco salarios mínimos)
- 6) Población estratos bajos (entre uno y dos salarios mínimos)
- 7) Suelo residencial mixto

Cada uno de estos sectores tiene asociados los siguientes atributos:

- *Producción (exógena e inducida)*: La producción *exógena* es la producción generada fuera del área de estudio. Su localización no depende de los mecanismos que simula el modelo, sino de decisiones de política o de elementos no modelados externos al sistema de análisis.

Por su parte, la producción *inducida* es la producción de un sector generada dentro del área de estudio, destinada a cubrir la demanda interna o externa de otros sectores. Sólo se considera este tipo de producción en las zonas internas

- *Costo de producción*: Es el costo unitario de un sector en la zona de producción; es función del costo de consumo de los insumos más el valor agregado.
- *Demanda exógena*: En el insumo-producto tradicional, la demanda exógena está constituida por el consumo directo de la población y del gobierno, la inversión y las exportaciones.
- *Demanda Inducida*: Corresponde a las necesidades de consumo final o intermedio de las actividades internas al sistema de análisis.

---

<sup>2</sup> AGEB: Área geoestadística básica.

- *Costo de consumo*: Es el costo unitario de un sector en la zona de consumo. Depende de su precio en la zona de producción y del costo de transporte a la zona de consumo. La cantidad consumida de un sector puede provenir de varias zonas de producción, y en cada una el precio puede ser distinto, como lo serán también los costos de transporte. Por lo tanto, el costo de consumo es un costo promedio ponderado por la proporción que se adquiere de cada zona de producción y sus correspondientes costos de transporte.
- *Utilidad de consumo*: Es el promedio logarítmico de las utilidades empleadas en la distribución probabilística de la demanda a zonas de producción. Utiliza la desutilidad de transporte en lugar del costo monetario.
- *Valor agregado a la producción*: Es el valor del capital y trabajo adicional a los insumos necesarios para obtener una unidad de producción. Típicamente se incluyen las remuneraciones al capital y al trabajo, impuestos o subsidios, consumo de capital fijo, amortización de equipos, etc.
- *Precio de equilibrio*: Es el valor que puede alcanzar un sector en una zona donde su capacidad de producción está restringida. Se trata de un bien escaso cuya oferta está limitada a las restricciones de producción. Si no hubiese restricciones, el precio es igual al costo de producción. Cuando la demanda es mayor que la capacidad de producción, el precio se incrementa, generando una ganancia al productor o renta de escasez. En el caso contrario, cuando la demanda es menor que la capacidad mínima de producción, el precio del sector baja, pudiendo significar pérdida de los productores.

El detalle sobre los métodos de cálculo de los valores correspondientes a cada uno de los atributos anteriores puede ser consultado en el manual de TRANUS denominado "Formulación Matemática de TRANUS", el cual puede ser obtenido en la siguiente dirección electrónica:

[http://66.116.161.158/Matem\(Castell\).DOC](http://66.116.161.158/Matem(Castell).DOC)

Los valores de todas las variables y atributos (tanto calculados internamente por el modelo como los alimentados por el usuario), en el presente proyecto pueden ser consultados en el Anexo III (**CDMexico.tuz**). Cabe decir que éstos fueron obtenidos para el año base (2003) del estudio de ETEISA a partir de la información socioeconómica disponible para el área de estudio, tomando en cuenta dos aspectos básicos para la generación de viaje: la población y el empleo. Dicha información incluyó los siguientes documentos:

- INEGI (1996). Consulta de Información Económica Nacional (CIEN).
- INEGI (1996). Distrito Federal. Censo de Población y Vivienda. Resultados definitivos. Información por AGEB para 1990 y 1995.
- INEGI (1996). Estado de México Censo de Población y Vivienda. Resultados Definitivos. Información por AGEB para 1990 y 1995.
- INEGI. XI Censo de Población y Vivienda, 1990. Información por delegación y municipio (<http://www.inegi.gob.mx>)
- INEGI. Censo de Población y Vivienda, 1995. Información por delegación y municipio (<http://www.inegi.gob.mx>)

- INEGI. XII Censo de Población y Vivienda, 2000. Información por delegación y municipio para 2000. (<http://www.inegi.gob.mx>)

Los primeros tres documento referidos no aparecen disponibles en la página de INEGI, por ello son presentados en el Anexo IV (Datos socioeconómicos), de este documento.

#### IV.1.2 Características del sistema de transporte

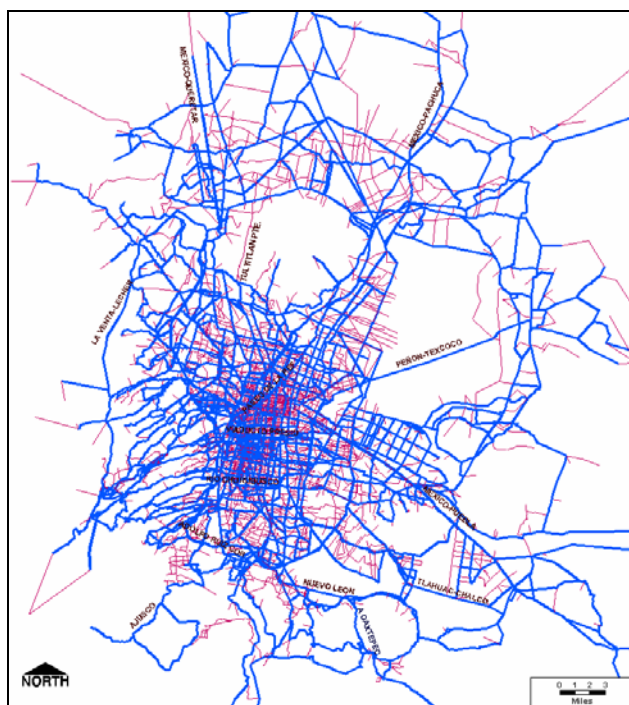
##### a) Red Vial

La red vial representa la infraestructura definida por los principales atributos físicos y operativos (número de carriles, volúmenes vehiculares, capacidades, funciones de volumen – demora, tiempos de recorrido), de la malla vial de la ciudad y de los municipios que forman parte del área de influencia del proyecto.

Para caracterizar la red vial de la Zona Metropolitana del Valle de México, la Secretaría de Transporte y Vialidad del Distrito ha contratado diversos estudios desde 1997. Cada estudio ha incrementado el abasto de información de la red, así para el estudio del corredor Eje 8 Sur desarrollado por ETEISA, se tomó como punto de partida la red vial cargada al programa de cómputo "EMME/2", que estaba disponible en la SETRAVI, la cual corresponde al año de 1992, con actualizaciones a los años 1994, 1997 y 2000 (Figura 3). Esta red vial incluye a las vías primarias de la ZMVM y a algunos tramos de la vialidad secundaria por donde circula el transporte público.

La red vial considera 21 tipos de vías, en las cuales transitan 17 operadores de transporte (o tipos de vehículo) diferentes y dos modos de transporte (público y privado), así como una red simplificada de rutas de transporte colectivo.

**Figura 3. Red Vial de la ZMVM en el 2000.**



Fuente: SETRAVI (2002)

## *b) Red de transporte*

Para analizar el componente de transporte público se examinó la información contenida en los siguientes documentos:

- Torres Consultores (1997). Actualización de la red de transporte de la ZMVM.
- Infocom (1999). Incorporación de la red de transporte a la red vial para modelación de transporte público de la ZMVM.
- Infocom (2000). Modelación de proyectos de impacto y/o transporte utilizando el paquete EMME/2.
- Hueltrón (2000). Estudio de minibuses en corredores urbanos que presentan paralelismo con líneas del metro.
- Sistema de información de transporte público del Distrito Federal (sin referencia).
- SETRAVI (2002). Planeación estratégica de transporte con utilización del programa EMME/2
- COLMEX (2002). Calibración de modelos de desarrollo urbano vinculados con el proceso de planeación del transporte en el Distrito Federal y Zona Conurbada.

Además de esta información se empleó la base de datos DB Vial (SETRAVI, 2004b), que contiene información sobre la Encuesta Origen – Destino realizado por ETEISA para SETRAVI en la ZMVM en el 2003.

De las referencias anteriores, se incluyen en el Anexo V (Red de Transporte), el estudio de Colmex (2002), y la base de datos DB Vial.

El detalle de la información de transporte utilizada por ETEISA para correr el modelo TRANUS en la ZMVM, así como las adecuaciones hechas para su aplicación en este proyecto se presenta a continuación:

### *Categorías de transporte:*

La demanda de transporte se clasificó en categorías. Cada categoría combina un determinado tipo de viajero con un propósito de viaje; así, en este proyecto se consideraron las siguientes categorías:

- Comercio/servicio
- Estratos bajos (al trabajo)
- Estratos medios (al trabajo)
- Estratos altos (al trabajo)

Para cada una de estas categorías se incluyó información relativa a:

- *Valor del tiempo de viaje*: valor monetario asignado al tiempo unitario de viaje.
- *Valor del tiempo de espera*: valor monetario asignado al tiempo unitario de espera.
- *Porcentaje de disponibilidad vehicular*: proporción de pasajeros en la categoría que dispone de vehículo para realizar los viajes del propósito correspondiente. Es un concepto distinto al de propiedad vehicular, aunque se relaciona; un vehículo no necesariamente propio puede estar disponible para el viaje, como es el caso de los estudiantes llevados a la escuela por sus padres. En este caso, la proporción de personas que disponen de vehículo, pueden elegir entre utilizarlo o usar el transporte público para viajes específicos. La proporción que no dispone de vehículo es cautiva del transporte público.
- *Tasa mínima de generación de viaje*: Es el mínimo de viajes realizado entre cada par de zonas origen – destino, que un usuario de la categoría de transporte (público o privado) hace en el período de simulación.
- *Tasa máxima de generación de viaje*: Es el máximo número de viajes que un usuario de la categoría (público o privado) estaría dispuesto a realizar en el período de simulación, cuando la disponibilidad de transporte tiende al máximo.
- *Elasticidad de la demanda*: Es la disponibilidad de la categoría para hacer más o menos viajes en el período de simulación, entre el mínimo y el máximo previamente definidos, en función de la desutilidad.

Los valores asignados a cada una de estas variables fueron estimados a partir de la información generada en la Encuesta Origen – Destino realizada por ETEISA para SETRAVI en el 2003 (Anexo V), la cual cubrió toda la ZMVM pero haciendo mayor énfasis en los corredores de Insurgentes y Eje 8 Sur. Dichos valores se asumieron constantes para todo el periodo de estudio, dado que no se dispone de metodología alguna para proyectarlos en el tiempo.

#### *Tipo de administrador*

Los administradores están a cargo de la oferta física de transporte, es decir, las vías, estacionamientos, puertos, etc. Ellos asumen el costo de mantener las infraestructuras y pueden cobrar por su uso a los operadores. Este cobro forma parte de los costos de los operadores quienes los pueden transferir total o parcialmente a los usuarios.

Normalmente el gobierno administra la mayor parte de la infraestructura de transporte, pero puede haber concesionarios privados, compañías ferroviarias, o vías a cargo de los gobiernos locales. Los tipos de administrador que se manejaron en este proyecto son:

- Gobierno del Distrito Federal
- Concesionario Cuota
- Metro

La importancia de definir a los administradores de la oferta física de transporte radica en que es a través de ellos que se pueden ingresar al modelo los diferentes costos asociados a un viaje a través de los diferentes tipos de vías.

### *Modos de transporte*

El Modo es la clasificación más general de la oferta operativa de transporte. Cada modo puede contar con varios operadores y, a la vez, cada operador puede tener distintas rutas.

Los modos de transporte definidos por ETEISA para el estudio del corredor Eje 8 Sur fueron:

- Privado, y
- Público

Para cada uno de ellos se incluyó información relativa a:

- *Factor de sobreposición de pasos*: que es el factor que controla el grado de dispersión de los caminos disponibles para hacer un viaje entre cada par de nodos origen – destino. Por ejemplo, cuando este factor es cero sólo se dispone de un camino para hacer el viaje y en consecuencia a medida que aumenta este factor se generarán más caminos, los cuales serán, a la vez, más distintos uno del otro. El factor que se asigna a un modo vale por defecto para todos los operadores del modo en toda la red.
- *Número máximo de pasos (o caminos)*: Es el número máximo de caminos disponible entre cada par de nodos origen – destino.

Los valores de estas variables son estimados internamente por TRANUS a partir de la información que se le alimenta sobre frecuencia de viaje, número de caminos disponible por modo de transporte, valor del tiempo de espera, etc).

La ecuación para derivar estos valores puede ser consultada en el manual de TRANUS denominado “Descripción matemática completa del sistema TRANUS” ([http://www.modelistica.com/bajar\\_instalar.htm](http://www.modelistica.com/bajar_instalar.htm)).

Los valores estimados para el año base 2003, se asumieron constantes en el tiempo, dado que no se consideraron modificaciones adicionales en la red vial utilizada, excepto para la introducción del segundo piso de periférico y en el caso de los escenarios a evaluar la virtual implantación de corredores de transporte.

### *Tipos de Operadores*

Los operadores proveen el servicio de transporte; son por ejemplo las compañías de autobuses, de camiones o de metro. Los automóviles privados, bicicletas e incluso los peatones, también se definen como operadores.

En este proyecto los operadores considerados son:

- Automóvil particular

- Peatón
- Autobús del Distrito Federal (RTP)
- Metro neumático
- Tren ligero
- Combi
- Autobús del Estado de México
- Metro férreo (Línea A)
- Trolebús
- Colectivo (Microbús)
- Alimentador troncal de autobús (Autobuses RTP que recorren rutas alimentadoras a estaciones de un corredor de transporte, cuando lo hay)
- Alimentador troncal de minibús<sup>3</sup> (Minibús que recorre rutas alimentadoras a estaciones de un corredor de transporte público, cuando lo hay)
- Autobús articulado circulando fuera de corredores de transporte.
- Carga
- Integrado en estación (p.e. escaleras eléctricas, pasos a desnivel, túneles y diferentes alternativas para transferirse del punto de descenso de la ruta alimentadora al sistema troncal. Sólo se considera cuando se implementan los corredores de transporte público)
- Autobús articulado normal (circulando en los corredores)
- Autobús articulado expreso (circulando en los corredores)

Estos operadores fueron establecidos con base en la información histórica disponible y proporcionada por SETRAVI para la realización del estudio del corredor de transporte Eje 8 Sur, tales como los descritos en SETRAVI (2002). Como se puede apreciar, la categoría correspondiente al operador taxi no se consideró en este estudio debido a que no se contó con la información necesaria para incluirlos como una categoría independiente. En general, en los trabajos o estudios sobre aforos vehiculares, que es de donde se podría obtener esta información, los taxis no son diferenciados de los autos particulares en las bases de datos.

Para cada operador utilizado se incluyó información relativa a:

- *Constante modal*: factor que penaliza los costos del operador para representar elementos subjetivos tales como comodidad, confiabilidad, etc. Como es multiplicativa, usualmente se asigna 1 al mejor operador y valores mayores a los otros, en términos relativos.
- *Tasa de ocupación*: tasa de ocupación de los vehículos del operador en unidades de demanda (pasajeros o toneladas). Para los vehículos de transporte público se ingresa la capacidad máxima (incluyendo personas de pie); para automóviles y carga se ingresa el promedio observado de ocupación.
- *Factor de tiempo*: tiempo de servicio del operador en relación a la frecuencia. Usualmente la frecuencia se especifica en vehículos por hora.
- *Tiempo de espera fijado*: componente fijo del tiempo de espera en operadores de transporte público. El modelo de transporte calcula los tiempos de espera en función a la frecuencia, la demanda, los puestos vacantes y otras variables.

---

<sup>3</sup> Minibús es un vehículo de capacidad y tamaño intermedio entre un autobús RTP y un microbús.

- *Tarifa de abordaje*: cargo monetario que el operador cobra al usuario al momento de abordar.
- *Tarifa por distancia*: es el cargo monetario por unidad de distancia que el operador cobra a los usuarios.
- *Tarifa por tiempo*: es el cargo monetario por unidad de tiempo que el operador cobra a los usuarios.
- *Factor de tarifa por categoría*: Se usa para representar las tarifas reducidas que pagan categorías tales como estudiantes o jubilados.
- *Consumo mínimo de energía por unidad de distancia*: corresponde al consumo en condiciones óptimas de operación.
- *Consumo máximo de energía por unidad de distancia*: corresponde al consumo cuando la velocidad de operación tiende a cero.
- *Costo por energía*: costo monetario por unidad de energía consumida por el tipo de vehículo del operador.
- *Costos del tiempo de operación*: usualmente representa los costos administrativos, estacionamiento y otros elementos que no dependen de las distancias recorridas.
- *Porcentaje de costos de operación pagado por el usuario*: especifica la proporción del costo de operación que se transfiere al usuario en forma de tarifa.

Los valores que no son estimados de manera interna por el modelo fueron derivados a partir la información obtenida de la Encuesta Origen – Destino realizada en la ZMVM por ETEISA para SETRAVI en el 2003 (Anexo V). Asumiéndose constantes para todo el periodo de análisis, excepto la variable denominada *Factor de tarifa por categoría*, la cual cambia únicamente para el operador *auto particular*.

### *Rutas*

El sistema de rutas contiene los diferentes servicios de transporte público que se ofrecen en la ciudad. Así la información cargada por ETEISA al modelo para el área de estudio proviene de fuentes tales como: Estudio de Minibuses en Corredores Urbanos que presentan paralelismo con líneas del Metro (Hueltrón,2000) y Estudio de modelación de proyectos de impacto y/o transporte utilizando el paquete EMME/2 (Infocom, 2000), y contempla una red simplificada de transporte colectivo de 507 rutas (de un total original de 2,522 que estaban representadas en el estudio de Infocom), además de información relativa a itinerarios, recorridos de las rutas, etc.

Los operadores de transporte público pueden tener rutas expresamente definidas y para cada una de éstas se incluyó información relativa a:

- Frecuencia mínima y máxima de paso de operador, por tipo y por unidad de tiempo (usualmente una hora), en la ruta.
- Ocupación (% de ocupación de un operador)

- Paradas del operador (ya sea por ascenso y descenso o por semáforos), tipos de giros (vueltas a la izquierda a la derecha, vueltas prohibidas, etc).

La información sobre estas variables fue obtenida a partir de las encuestas Origen – Destino del 1994 y del 2003 (Los resultados de esta última encuesta puede ser encontrada en el Anexo V. Rutas de transporte) Por otra parte, información detallada sobre las rutas consideradas en este estudio puede se consultada en el Anexo VI (Rutas.exe).

### *Nodos*

Los Nodos son los puntos de origen y destino de cada enlace de la red. Todos los datos de la red están referidos a enlaces (distancia, capacidad, velocidad, rutas, etc.). El único dato requerido sobre los nodos es las coordenadas geográficas para la representación gráfica de la red, y opcionalmente un nombre y una descripción.

En el presente trabajo los nodos tienen como base la red vial actualizada en el año 2000 e incluye el segundo piso del periférico.

Las coordenadas de cada nodo pueden ser consultadas en el Anexo VII (Nodos.exe).

### *Enlaces*

Un enlace es la unión de dos nodos, donde un nodo es el origen y otro es el destino. Representan calles, carreteras, vías férreas o cualquier otro tipo de infraestructura y tienen características específicas, como son distancia y capacidad, entre otros. Se agrupan por tipos de vía y comparten características comunes.

En general se definen dos tipos de enlaces:

- Unidireccionales, y;
- Bidireccionales

Para cada tipo de enlace se incluyó información sobre:

- Distancia: longitud del enlace
- La capacidad del tramo en unidades de vehículos equivalentes<sup>4</sup>
- Tipo de enlace: unidireccional o bidireccional
- Tipo de vía al cual pertenece el enlace
- Rutas que pasan en cada enlace.
- Especificación de giros prohibidos.

En general, los valores de los nodos origen y destino, dirección y tipo de vía para cada enlace pueden ser consultadas en el Anexo VIII (Enlaces.exe).

---

<sup>4</sup> *Vehículos equivalentes*: multiplica el número de vehículos para transformarlos en vehículos estándar. El automóvil es usualmente tomado como la unidad estándar con un valor de 1. Los autobuses y camiones tendrán valores mayores, dependiendo del tipo.

## *Tipos de vía*

Algunas propiedades de los enlaces son únicas, como la distancia y la capacidad, pero otras son comunes a determinados *Tipos de Vía*. Para simplificar la codificación de la red, los tipos de enlace se clasifican de acuerdo a su función y/o características físicas, tales como autopistas, carriles exclusivos de autobuses, sendas peatonales, etc. En este caso se consideraron:

- Autopista de cuota
- Carretera
- Vía rápida
- Lateral de la vía rápida
- Eje vial
- Vía contrasentido
- Red primaria
- Red secundaria
- Línea genérica del metro
- Estación del metro
- Red primaria sin peatón
- Red secundaria sin peatón
- Eje vial sin peatón
- Elevado, segundo piso
- Lateral vía rápida sin peatón
- Conector a centroide<sup>5</sup> normal<sup>6</sup>
- Conector a centroide “parking” alto<sup>7</sup>
- Conector a centroide “parking” medio<sup>8</sup>
- Conector a centroide normal sin peatón<sup>9</sup>
- Rampa, acceso vía rápida
- Corredor exclusivo

Para cada tipo de vía se incluyó información sobre:

- Administrador
- Capacidad
- Costo mínimo de mantenimiento por unidad de distancia del tipo de vía correspondiente
- Porcentaje de reducción de la velocidad cuando el volumen es igual a la capacidad de la vía
- Relación volumen/capacidad a la cual la velocidad se hace mínima.
- Velocidad a flujo libre del operador en el tipo de vía
- Cargos (que es el cobro que los Administradores hacen por el uso de algunas infraestructuras, como peajes o estacionamientos; se especifica por unidad de distancia).
- Penalización (representa elementos subjetivos del tipo de vía que afecta las condiciones de operación).

---

<sup>5</sup> *Centroide*: es un referente geográfico de cada zona dentro del área de estudio. Todas las realciones entre actividades y transporte están referidas a estos puntos.

<sup>6</sup> *Conector a centroide normal*: es el grupo de enlaces que conectan un centroide con la red vial.

<sup>7</sup> *Conector a centroide “parking” alto*: es el grupo de enlaces que conectan un centroide al metro

<sup>8</sup> *Conector a centroide “parking” medio*: es el grupo de enlaces que conectan un centroide con las estaciones de transbordo (correspondencia)

<sup>9</sup> *Conector a centroide normal sin peatón*: grupo de enlaces que conectan el metro a la red vial

- Costo por distancia (costo monetario por unidad de distancia en el que incurren los vehículos del operador en el tipo de vía)
- Vehículos equivalentes

#### *IV.1.3 Hipótesis de Crecimiento*

Dado que los escenarios evaluados tanto en el proyecto del Eje 8 Sur desarrollado por ETEISA como los analizados en este trabajo corresponden a situaciones hipotéticas futuras, a continuación se describen los supuestos acerca del crecimiento futuro esperado para el área de estudio en lo que respecta a empleo y población.

Para realizar la modelación de los escenarios futuros es necesario definir primero el crecimiento más probable que mostrarán las actividades que dan origen a la demanda por transporte que son: el empleo y la población. Estos datos se definieron sobre la base de tres sectores de empleo: manufactura, comercio y servicios. La población se clasificó en tres sectores socioeconómicos sobre la base del ingreso, calidad de vivienda, equipamiento y disponibilidad de vehículo.

El crecimiento esperado de la población depende de una serie de factores, especialmente el crecimiento vegetativo<sup>10</sup> y los saldos migratorios. Generalmente se procede a trazar series históricas y extrapolarlas a futuro. Este procedimiento se basa en el supuesto que las tasas de crecimiento son relativamente estables. Por su parte, el crecimiento del empleo está influenciado por variables de tipo económico que representan las expectativas de incremento del PIB sectorial.

El último elemento a considerar es que el crecimiento de la población y el empleo están estrechamente relacionados entre sí, aunque estén generados por causas diferentes. Esto es porque de las características demográficas depende la población económicamente activa, que debe ser igual al empleo más el desempleo.

Antes de presentar las cifras adoptadas para este estudio se debe agregar que éstas se refieren a un área geográfica específica con una determinada cobertura de AGEBs. Muchas de las estimaciones de población futura suponen que el área se amplía, incorporando municipios, y por lo tanto AGEBs, adicionales.

A pesar del peso demográfico que representa la Ciudad de México, existen relativamente pocas proyecciones de población, y menos aún, de población ocupada. Para este estudio se tomó como punto de partida las proyecciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (Conapo) en 1998 (por lo tanto antes del último censo), que se muestran en el Cuadro 1 y en la Figura 4. Corresponde a una hipótesis media de crecimiento de la población con reemplazo en el 2015. Se basa enteramente en la serie histórica de crecimiento poblacional que también se muestra en el Cuadro y la Figura.

Como puede verse, la serie histórica revela que la tasa de crecimiento de la población se ha venido reduciendo de 2.1% anual entre 1990 y 1995 a 1.5% entre 1995 y 2000, lo cual fue confirmado por el censo. Según esto, Conapo supone que la tasa anual de crecimiento seguirá disminuyendo en el futuro, lo cual parece muy razonable. Esto es lo que señala el análisis demográfico, pero puede ocurrir que el propio tamaño de la Ciudad de México haga que el sistema de transporte no logre soportar la demanda y restrinja aún más el crecimiento. Esto, sin embargo, es una hipótesis difícil de estimar,

---

<sup>10</sup> *Crecimiento vegetativo*: Se define como la diferencia entre la natalidad y la mortalidad en un determinado período de tiempo.

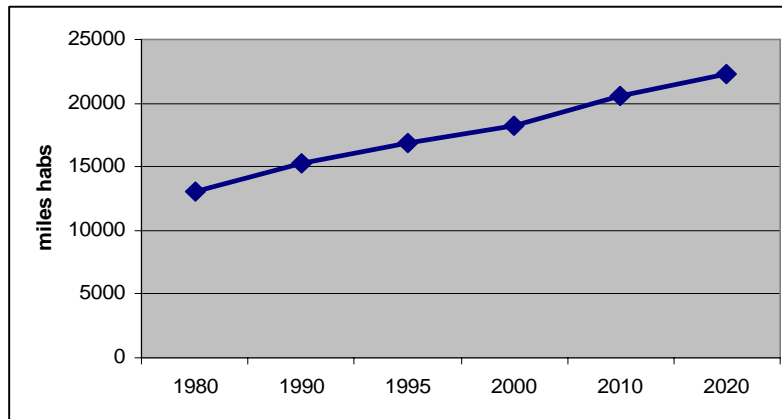
por lo cual se optó por mantener los supuestos de Conapo respecto al crecimiento de la población.

**Cuadro 1: Proyecciones de población de Conapo**

	1980	1990	1995	2000	2010	2020
Población (miles)	12 994	15 274	16 920	18 234	20 532	22 233
Tasas anuales		1.6%	2.1%	1.5%	1.2%	0.8%

Fuente: Proyección de Conapo según hipótesis media de reemplazo de población en el año 2015

**Figura 4. Proyecciones de población de Conapo**



Fuente: Proyección de Conapo según hipótesis media de reemplazo de población en el año 2015

Los períodos de proyección del estudio original desarrollado por ETEISA fueron 2003 – 2008 – 2013. Por esta razón optaron por una tasa de 1.4% entre el 2003 y el 2008, bajando a 1.3% en el quinquenio siguiente.

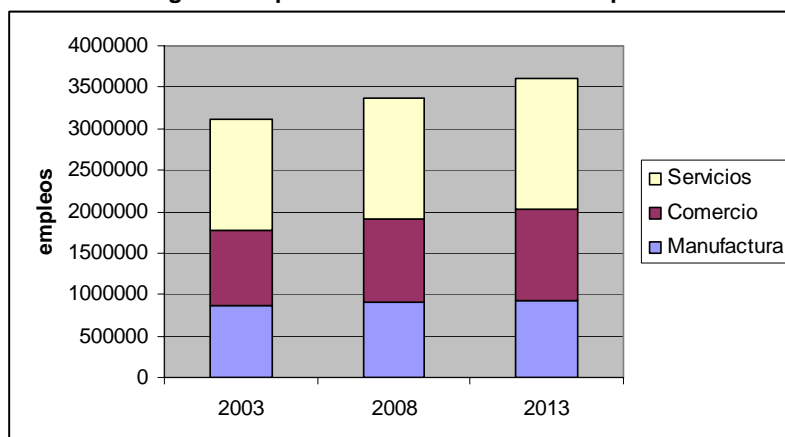
Como se mencionó, prácticamente no existen proyecciones sobre población ocupada. La hipótesis que se adoptó para este estudio es que el empleo crecerá a una tasa ligeramente por encima de la poblacional. Los valores adoptados fueron 1.5% para el empleo total entre el 2003 y el 2008 y de 1.4% para el siguiente, es decir, 0.1% por encima de la población, lo cual puede considerarse como una hipótesis muy moderada.

El supuesto anterior es ilustrado en en el Cuadro 2 y en la Figura 5. Puede verse que el crecimiento del empleo está un poco por encima del crecimiento de la población. También puede verse que los tres sectores de población crecen a la misma tasa, lo cual quiere decir que se mantiene la estructura socioeconómica de la población.

**Cuadro 2. Estimaciones propias de población y empleo**

Sector	2003	2008	% anual	2013	% anual
Manufactura	871 360	902 288	0.7%	929 683	0.6%
Comercio	911 064	1 000 967	1.9%	1 094 356	1.8%
Servicios	1 336 142	1 460 803	1.8%	1 589 265	1.7%
<b>Total Empleo</b>	<b>3 118 566</b>	<b>3 364 057</b>	<b>1.5%</b>	<b>3 613 304</b>	<b>1.4%</b>
Estratos Bajos	8 700 986	9 327 349	1.4%	9 949 597	1.3%
Estratos Medios	6 306 495	6 760 485	1.4%	7 211 491	1.3%
Estratos Altos	2 949 186	3 161 491	1.4%	3 372 401	1.3%
<b>Total Población</b>	<b>17 956 667</b>	<b>19 249 325</b>	<b>1.4%</b>	<b>20 533 488</b>	<b>1.3%</b>

Fuente: ETEISA (2004)

**Figura 5. Hipótesis de crecimiento del empleo**

Fuente: ETEISA (2004)

En general, los totales de población y empleo por categoría son comunes a los dos escenarios evaluados en este trabajo (con corredores y sin la virtual implementación de los corredores. Ver detalle en la sección IV.5). Sin embargo, el total de viajes por escenario, como se verá más adelante, no necesariamente son iguales ya que modificaciones en el sistema de transporte pueden inducir una cantidad adicional de viajes.

Finalmente, es importante recalcar que para emplear la información aquí descrita en la evolución de los escenarios de interés de este proyecto, se asumieron como válidas las siguientes suposiciones:

- Los datos recién descritos para el periodo 2003-2013, se supusieron válidas para el periodo 2002-2012 con un año de desfasamiento, debido a que el año base de nuestro estudio es el 2002. Esta consideración esta basada en el hecho de que toda la información base (red vial, sistema de transporte público, aforos vehiculares, uso de suelo, etc.) no es específica para caracterizar el año base (2003) utilizado por ETEISA, sino que fueron desarrollados en diferentes años y en consecuencia se asumió que también sería válida para el año 2002.
- Dado que nuestro horizonte de análisis incluye el periodo 2002-2020 y que el estudio de ETEISA únicamente ajustó el modelo TRANUS para el periodo 2003-2013, se asumió que en el periodo 2014-2020 las actividades consideradas en el modelo experimentarían un crecimiento promedio anual idéntico al crecimiento promedio anual del periodo 2008-2013 utilizado por

ETEISA debido a que no se disponía de la información suficiente y necesaria para hacer una proyección propia más detallada y documentada. A partir de este supuesto se hizo una extrapolación del dato de actividad y consumo de combustible a través del método de regresión polinomial.

#### *IV.1.4 Periodo de modelación*

TRANUS tiene capacidad para simular una hora, varias horas o un día completo. Sin embargo, se eligió modelar una hora pico (definida como la hora con el máximo número de viajes realizados en el día), que en este caso fue considerada entre las 7 y las 8 de la mañana, de acuerdo a los resultados arrojados de los aforos vehiculares realizados por ETEISA en el 2003 (SETRAVI, 2004). La razón para esta elección fue que se disponía de información más completa y precisa para caracterizar la situación de la demanda y la oferta de transporte para esta hora que para un día completo y se consideró que la confiabilidad de los resultados sería mayor en este escenario.

La base de datos sobre aforos vehiculares realizados por ETEISA en el 2003 pudo ser consultada en el Anexo IX (Aforos vehiculares).

### **IV.2. Adaptación de TRANUS para vehículos de carga**

Para ingresar la información relativa a la categoría de transporte Carga en el modelo TRANUS para la evaluación de los escenarios planteados en este trabajo, se realizaron las siguientes actividades:

1. Se creó la categoría de transporte *carga* y a las variables que se asocian se le asignaron los siguientes valores:

El porcentaje de disponibilidad vehicular es 1 sólo por compatibilidad con otras versiones del modelo TRANUS.

Los valores de tasa mínima y máxima de generación de viaje, así como la elasticidad no se usan en la categoría de carga porque la asignación de viajes a ésta es totalmente exógena, esto es, se asignan los viajes de manera externa por el usuario en lugar de ser estimados por el modelo de generación de viajes que utiliza TRANUS. En este los valores ingresados como viajes exógenos<sup>11</sup>, corresponden a los volúmenes vehiculares calculados en el estudio de demoras y tiempos reportados en SETRAVI (2004).

Los valores de las variables *valor del tiempo de viaje* y *valor del tiempo de espera*, son estimados internamente por el modelo a partir de los datos ingresados en el apartado *Tipo de vialidad* y *Tipo de operador*.

2. Se creó un *modo* de transporte llamado carga y a las variables asociadas se le asignaron los valores indicados en el Cuadro 3.

---

<sup>11</sup> *Viaje exógeno*: es un viaje adicional no simulados por las ecuaciones del modelo Tranus, tal como los viajes de paso. Existen dos tipos de viajes exógenos, unos van directamente a la etapa de separación modal, ignorando la generación de viajes y los segundos van directamente a la asignación de tráfico a la red, sin pasar por la generación ni la separación modal.

**Cuadro 3. Atributos del modo de transporte Carga y valores asignados**

Variable	Valor
Factor de sobreposición de pasos	2
Número máximo de pasos	3
Constante modal	0

Para estimar los valores exigidos por el modelo para este modo de transporte es indispensable contar con información sobre rutas de viajes, la cual sólo es obtenida a través de encuestas origen-destino y dado que en México no se dispone de esta información para este modo de transporte, se asumió que los valores utilizados en el caso de los autos particulares serían válidos para la categoría carga, ya que se trata de un modo de transporte que al igual que los autos particulares no tienen rutas definidas de circulación.

2. Se creó el operador Carga, considerado en este caso como un vehículo promedio para poder representar de manera global a los vehículos de carga pequeños (dos ejes), medianos (tres ejes) y grandes (Tractocamiones). Los valores de las variables asociadas con este operador son mostrados en el Cuadro 4.

El factor que penaliza los costos del operador se asumió 1, por que se consideró que los elementos subjetivos tales como confiabilidad y comodidad no cambiarían en el tiempo y por lo tanto no hay incremento en el costo de operación de estos vehículos.

La tasa de ocupación de los vehículos del operador en unidades de demanda se asumió 1, pues se considera que cada vehículo tiene un sólo pasajero (chofer).

El tiempo de servicio del operador es 1, pues en los estudios de aforo vehicular se observó que esta categoría de transporte operó durante toda la hora entre 7:00 y 8:00 de la mañana, que fue la hora de simulación utilizada en este trabajo.

Factor de penalización por categoría se refiere al nivel de preferencia que tiene un usuario por un operador dentro de una categoría de transporte y como en este caso sólo se tiene asociado un operador para esta categoría el valor es 1, lo que significa que el 100% de los viajes de esta categoría se hacen por este operador.

**Cuadro 4. Valores asignados a las variables vinculadas con el operador Carga**

Variable	Valor (unidades)
Factor que penaliza los costos del operador (modal constant)	1
Tasa de ocupación de los vehículos del operador en unidades de demanda (Occupancy rate)	1 (vehículos)
Tiempo de servicio del operador (Time factor)	1 (hora)
Factor de penalización por categoría (Penalty factor by category)	1
Consumo mínimo de energía por unidad de distancia (Energy minimum)	0.33 (litros/km)
Consumo máximo de energía por unidad de distancia (Energy maximum)	2.3 (litros/km)
Costo monetario por unidad de energía (Energy slope o par)	0.063 (pesos)
Costos monetarios por unidad de energía consumida (Energy cost o fuel price)	5.7 (pesos)
Costo del tiempo de operación (Time operating cost)	0 (pesos)
Porcentaje de costos de operación pagado por el usuario (% operating cost paid by user)	120 (%)

Los valores asignados a las variables consumo mínimo de energía por unidad de distancia, consumo máximo por unidad de energía, costo monetario por unidad de energía y el costo monetario por unidad de energía consumida, fueron obtenidos de la información que ETEISA generó para el proyecto de Eje 8, el cual hace un análisis de consumo de combustible que considera autos particulares, combis, microbuses, autobuses y carga. Dicha información puede ser consultada en el capítulo 7 del documento “Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor estratégico eje 8 sur” (ETEISA, 2004).

El valor del costo por tiempo de operación es cero debido a que no se consideró el salario de los chóferes por que este rubro ya está incluido en la variable denominada Porcentaje de costo de operación.

El porcentaje del costo de operación pagado por el usuario se consideró 120%, por que el 100% del costo de operación es pagado por el usuario y el 20% representa la ganancia de la empresa. La consideración de un 20 % como ganancia de la empresa fue sugerida por el Dr. Tomás de la Barra y esta basada en su experiencia con el estudio de esta categoría de transporte en otros países.

En general, estos valores fueron considerados constantes en todo el periodo de tiempo analizado (2002-2012), dado que no existe metodología alguna que permita proyectarlas.

4. Se agregó la velocidad a flujo libre ó velocidad comercial máxima<sup>12</sup> a los tipos de vías por donde circula el operador carga, así como algunas otras variables asociados con el tipo de vía en este operador (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Valores asignados a las variables vinculadas con el tipo de vía por donde circula el operador carga.**

Tipo de vía	Velocidad (km/hr)	Penalización <sup>13</sup>	Costo por distancia (\$/km)	Vehículos equivalentes
Autopista de cuota	40	1	3.22	2
Carretera	32	1	3.22	2
Lateral de la vía rápida	11	1	3.22	2.5
Eje vial	28	1	3.22	2.5
Red primaria	12	1	3.22	2.5
Red secundaria	12	1	3.22	3
Red primaria sin peatón	23	1	3.22	2.5
Red secundaria sin peatón	22	1	3.22	3
Eje vial sin peatón	29	1	3.22	2.5
Lateral vía rápida sin peatón	23	1	3.22	2.5
Conector centroide normal	12	1	3.22	3.5
Conector centroide parking alto (enlace entre el metro y la red vial)	12	1	3.22	3.5
Conector centroide parking medio (enlace entre estaciones de transbordo del metro)	12	1	3.22	3.5
Conector centroide normal sin peatón		1	3.22	3.5

<sup>12</sup>La velocidad comercial se define como la velocidad promedio que una unidad de transporte mantiene para dar una vuelta completa (origen – destino), la cual no contempla el tiempo de espera en las terminales

<sup>13</sup> Penalización: es un factor que afecta la elección y los costos de un operador en un tipo de vía con base en factores tales como iluminación, señalización, condiciones físicas, etc

Los valores de velocidad fueron obtenidos como promedio a partir de los datos generados en el Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del Área Metropolitana de la Ciudad de México (SETRAVI, 2004).

La penalización es 1 en todos los casos pues se asumió que no había condiciones de circulación que afectaran la elección de los usuarios, como iluminación, señalización etc., para este tipo de operador.

El valor de costo por distancia fue obtenido a partir de los datos sobre costos de operación por tipo de vehículo reportados por SCT-IMT (2004), que son mostrados en el Cuadro 6. Para la obtención de este valor se asumió un estado superficial muy bueno, con una composición de viajes para camiones de dos y tres ejes del 84% y para tractocamiones de 16% (de acuerdo con lo datos reportados en SETRAVI, 2004).

**Cuadro 6. Costos de operación por tipo de vehículo y estado superficial.**

<b>Costos de operación (\$/veh-km)</b>			
<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Estado superficial</b>		
	<b>Muy bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>
Vehículo ligero	2.29	2.42	2.60
Autobús foráneo	7.26	7.64	8.07
Camión de dos ejes	3.92	4.57	5.21
Camión articulado ó tractocamión	9.17	10.14	11.17

Los costos de operación por distancia presentados en el cuadro anterior, incluyen los costos por consumo de combustible, el cual fue necesario separar dado que TRANUS así lo demanda. Para ello, se consideraron los costos por consumo de combustibles SCT-IMT (2004) por tipo de vehículo (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Consumo de combustible por tipo de vehículo**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Variable</b>		
	<b>COT</b>	<b>CC</b>	<b>CONC</b>
Articulado o Tractocamión	9.17 \$/veh-km	3.7 \$/litro	753.68 litros por cada 1000 veh-km
Camión de dos	3.92 \$/veh-km	3.79 \$/litro	329.43 litros por cada 1000 veh-km

Luego se aplicó el siguiente algoritmo (Ec. 1), con el supuesto de que los datos reportados en los cuadros anteriores para los camiones de dos ejes serían también válidos para su aplicación en camiones de tres ejes, dado que no se dispuso de información que refiriera específicamente costo de operación y consumos de combustible para camiones de tres ejes.

$$CD_i = COT - (CC * CONC) / 1000 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- CD<sub>i</sub> = Costos por distancia del operador i (i =1 vehiculo de dos ejes y i =2 tractocamiones)
- COT = Costos de operación total
- CC = Costos por combustible
- CONC = consumo de combustible

De esta ecuación resulta que los costos por distancia para tractocamión y los camiones de dos y tres ejes son 6.381 \$/km y 2.671 \$/km. Aplicando los porcentajes de viajes de cada tipo de vehículo (Ec. 2), el costo promedio por distancia fue de 3.22

$$\text{Costos promedio por distancia} = (CD_1 \times \% CV1) + (CD_2 \times CV2) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$$\begin{aligned} CV_{1y2} &= \text{composición de viaje} \\ CD_i &= \text{costos por distancia del operador } i \text{ (} i=1 \text{ vehículo de dos ejes, } i=2 \text{ tractocamiones)} \end{aligned}$$

En cuanto a los vehículos equivalentes es pertinente recordar que se trata de un indicador del espacio físico que ocupa un vehículo determinado, teniendo como referencia el tamaño estándar de auto particular. Así por ejemplo, el automóvil es usualmente tomado como la unidad estándar de referencia con un valor de 1. En consecuencia los autobuses y camiones tendrán valores mayores.

Es necesario estimar los autos equivalentes para cada operador en cada vía, dado que el modelo estima el número total de vehículos por operador con base en esta referencia. Por otra parte, es importante decir que el número de autos equivalentes varía de una vialidad a otra porque son función de la capacidad de cada vía y del número de vehículos de carga que transitan por cada una de ellas.

Ahora bien, los autos equivalentes reportados en el Cuadro 5 para cada tipo de vía fueron sugeridos por el Dr. Tomás de la Barra.

5. Se incorporaron por zonas los viajes exógenos para la categoría de viajes por carga y el modo carga de acuerdo a los resultados reportados en el estudio de aforos 2003 (SETRAVI, 2004). Sin embargo, es preciso destacar que los volúmenes vehiculares obtenidos en este estudio son reportados sobre la base de un día completo y dado que la simulación con TRANUS corresponde a una hora pico (7-8 de la mañana), fue necesario desagregar dicha información, lo cual se hizo sobre la base de saber el porcentaje de viajes realizados en dicha hora corresponden al 8.2% del total realizado en un día típico entre semana, de acuerdo con el estudio de aforos vehiculares de 2003 (SETRAVI, 2004).

El número de viajes de carga obtenidos por cada par de zonas (origen – destino), para nuestro año base (2002) de estudio se muestra en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Número de viajes para la categoría carga y modo carga por cada par de zonas origen – destino (2002).**

Zona origen de los viajes				Zona destino de los viajes				Número de viajes
Coordenadas (UTM)		Nombre de la zona	Identificador Id	Coordenadas (UTM)		Nombre de la zona	Identificador Id	
X	Y			X	Y			
485369.8125	2137913.5	Centinela	559	487603.6875	2133770.5	LosSauces	518	41
485369.8125	2137913.5	Centinela	559	480523.7188	2138843.5	Copilco	390	23
486506.3125	2148056.5	Centro	5	485193.4063	2134038	EstAzteca	526	165
483999.25	2140748	Pirineos	340	483636.5	2158710.5	Guadalupe	181	102
481449	2143613.75	Pensilvania	360	496284.9688	2142113.5	Gelatao	448	70
495240.1563	2140359.75	VGuerrero	470	481449	2143613.75	Pensilvania	360	88
483020.4688	2142790	AngUbraza	351	500337.5625	2141159	StaMartha	459	77
481785.2813	2144350.75	Filadelfia	368	500337.5625	2141159	StaMartha	459	34
489191.6875	2147843	SnLázaro	257	500337.5625	2141159	StaMartha	459	86
480356.4375	2145476.75	Tacubayas	86	500092.9375	2139604.5	Acahualtepec	463	89
480356.4375	2145476.75	Tacubayas	86	499008.2188	2139161.75	AmplAcahualt	466	80
487603.6875	2133770.5	LosSauces	518	502621.9688	2126807	Zapotitlán	587	24
490746.7813	2140846.5	LaAsunción	434	493076.4063	2145534	Pantitlán	291	76
486648.125	2149157	Candelaria	47	486707.5	2139959.75	Ermita	556	22
487780.7813	2148908.75	CentroNorte	243	492949.2188	2158951.5	Xalostoc	748	64
486471.0625	2150131.5	Morelos	43	485332.4688	2150721	Tlatelolco	40	45
490366.9063	2149100	GranCanal	254	485332.4688	2150721	Tlatelolco	40	18
477121.8438	2152618	IndustNacional	709	484171.625	2152452.5	LaRaza	133	117
492298.8125	2153105.5	Providencia	204	488276.0938	2153521.75	VillaBasili	223	63
486677.1563	2155418	Lindavista	176	488726.875	2154600.5	MCarrera	199	192
486179.25	2147088.25	Esperanza	10	488892.2188	2147237	Balbuena	279	29
475121.8125	2143500.5	Tacubaya	412	481770.1563	2146622.5	Condesa	64	107
477121.8438	2152618	IndustNacional	709	484788.9375	2148650.25	Bellas Artes	1	54

Continua ....

**Cuadro 8. Número de viajes para la categoría carga y modo carga por cada par de zonas origen – destino (2002). Continuación ...**


Zona origen de los viajes				Zona destino de los viajes				Número de viajes
Coordenadas (UTM)		Nombre de la zona	Identificador Id	Coordenadas (UTM)		Nombre de la zona	Identificador Id	
X	Y			X	Y			
475966.5938	2159456.25	SnAndrésAte	715	467435.1875	2168742	SnIdefonso	1013	60
478518.7813	2148315.25	Palmitas	96	479022.8438	2140794.25	LasAguilas	383	87
482628.5938	2166677.25	Buenvista	974	493067.25	2136304.5	PuenteBlanco	487	95
494832.3125	2151367.5	BosqueAragón	823	493067.25	2136304.5	PuenteBlanco	487	93
488890.6563	2159374.25	Ixhuatepec	745	481736.0313	2134427	Perisur	533	47
485124.8125	2151479.25	SnSimón	35	483341.2813	2140616	GralAnaya	343	25
489191.6875	2147843	SnLázaro	257	494832.3125	2151367.5	BosqueAragón	823	141
485369.8125	2137913.5	Centinela	390	480523.7188	2138843.5	Copilco	559	18
478518.7813	2148315.25	Palmitas	96	477520.0938	2161839.5	EIDorado	712	55
480701.6563	2146159.25	SnMiguel	84	480523.7188	2138843.5	Copilco	390	33
471912.25	2156307.25	SnMateo	690	474895.6875	2153667.5	IndustNaucalpán	687	91
494832.3125	2151367.5	BosqueAragón	823	497027.4688	2162166.5	Ecatepec	795	317
474895.6875	2153667.5	IndustNaucalpán	687	470333.9063	2151467.5	MinasPalaci	679	78
478518.7813	2148315.25	Palmitas	96	493067.25	2136304.5	PuenteBlanco	487	43
490746.7813	2140846.5	LaAsunción	434	493076.4063	2145534	Pantitlán	291	111
487780.7813	2148908.75	CentroNorte	243	487603.6875	2133770.5	LosSauces	518	61
485332.4688	2150721	Tlatelolco	40	490366.9063	2149100	GranCanal	254	28
485332.4688	2150721	Tlatelolco	40	480822.875	2150912.5	Anahuac	118	99
484171.625	2152452.5	LaRaza	133	493188.9688	2150847	BosqueAragón	210	65
488276.0938	2153521.75	VillaBasili	223	479708.8438	2156452.5	Rosario	147	65
492298.8125	2153105.5	Providencia	204	486677.1563	2155418	Lindavista	176	114
488892.2188	2147237	Balbuena	279	486179.25	2147088.25	Esperanza	10	40
484788.9375	2148650.25	Bellas Artes	1	479500.1563	2151999	Legaria	107	41

#### IV.2.1 Hipótesis de crecimiento

Para el periodo 2003-2020 el incremento en el número de viajes por carga entre cada par de zonas se proyectó asumiendo un crecimiento directamente proporcional al crecimiento del producto interno bruto (Cuadro 9), con la suposición adicional de que en el periodo 2013-2020 se mantendría constante el crecimiento del PIB en una tasa de 5%.

**Cuadro 9. Tasas de crecimiento del PIB nacional**

Año	Crecimiento del PIB (%)
2003	1.2
2004	3.0
2005	4.0
2006	5.0
2007	5.0
2008	5.0
2009	5.0
2010	5.0
2011	5.0
2012	5.0

Fuentes: 1) Expectativas de desarrollo económico (CIP, 2004) [http://www.cipm-dosbocas.com.mx/conferencias/Dia%20Ing%202004/Explorar%20Cual%20es%20la%20prisa\\_2\\_pp...](http://www.cipm-dosbocas.com.mx/conferencias/Dia%20Ing%202004/Explorar%20Cual%20es%20la%20prisa_2_pp...) (MICROSOFT POWERPOINT)   
2) Harbor Intelligence (2002). [http://www.askharbor.com/pdfs/market/panorama\\_sec-122002.pdf](http://www.askharbor.com/pdfs/market/panorama_sec-122002.pdf)

#### IV.3 Estimación de consumo de combustible

La sección *Energy* de TRANUS especifica una función de costo de operación de un vehículo relativo al uso de energía. En la mayoría de los casos se trata de vehículos a combustión interna, por lo tanto la función se refiere al consumo de combustible, aunque no hay restricciones para representar vehículos eléctricos y otros. Como puede verse en la ecuación 3, el costo de operación relativo al uso de energía (combustible) varía con la velocidad de circulación.

$$COpEner = [min + (max-min) \exp(-par * Vel)] * precio \quad (Ec. 3)$$

Donde:

<i>COpEner</i>	=	costo de operación relativo a energía (en \$ por Km)
<i>min</i>	=	es el consumo mínimo de energía cuando la velocidad de circulación es alta y los vehículos operan en condiciones óptimas
<i>max</i>	=	es el consumo máximo cuando la velocidad de operación es cercana a cero
<i>par</i>	=	es el parámetro que regula la curva de consumo de energía del operador; es negativo porque a medida que la velocidad aumenta se reduce el consumo
<i>Vel</i>	=	es la velocidad del vehículo objeto de análisis (km/h)
<i>precio</i>	=	Es el precio del combustible utilizado (\$ por litro)

De la ecuación anterior, si eliminamos el variable *precio* entonces la fórmula puede ser empleada para calcular el consumo de combustible por kilómetro recorrido a diferentes velocidades, quedando como sigue:

$$Con = min + (max-min) \exp(-par * Vel) \quad (Ec. 4)$$

Donde:

- Con* = Consumo de energía (l/Km)  
*min* = es el consumo mínimo de energía cuando la velocidad de circulación es alta y los vehículos operan en condiciones óptimas  
*max* = es el consumo máximo cuando la velocidad de operación es cercana a cero  
*par* = es el parámetro que regula la curva de consumo de energía del operador; es negativo porque a medida que la velocidad aumenta se reduce el consumo.  
*Vel* = es la velocidad del de vehículo objeto de análisis (km/h)

A efecto de ilustrar numéricamente la formulación de éste módulo de TRANUS modificado para estimar consumos de combustible, en el Cuadro 10 se muestran los parámetros default utilizados por el modelo para Minibús y Autobús.

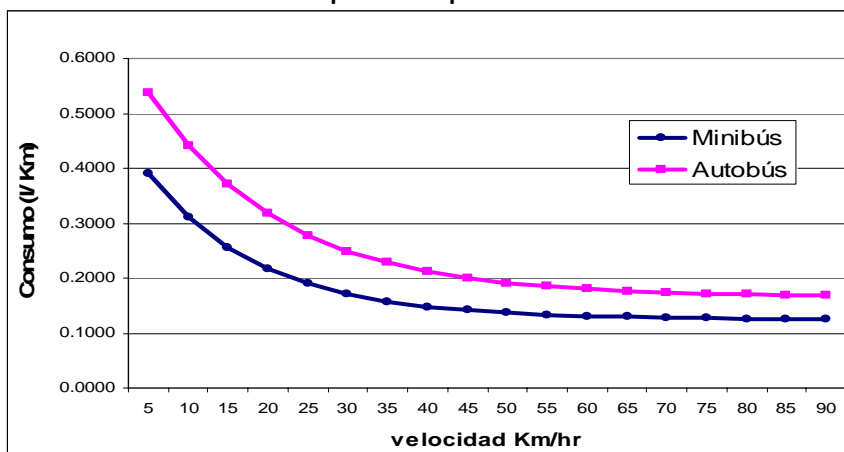
**Cuadro 10. Parámetros para estimar costo de operación por consumo de combustible**

Parámetro	Tipo de vehículo	
	Minibús	Autobús
Min.	0.125	0.167
Máx	0.500	0.667
Par	0.070	0.060

Fuente: TRANUS [http://www.modelistica.com/bajar\\_instalar.htm](http://www.modelistica.com/bajar_instalar.htm) (Tres ejemplos muy sencillos explicados paso a paso; tutorial.doc)

Gráficamente, el resultado de la función, al aplicarla para un rango de velocidad de entre 5 y 90 km/hora se presenta en la Figura 6:

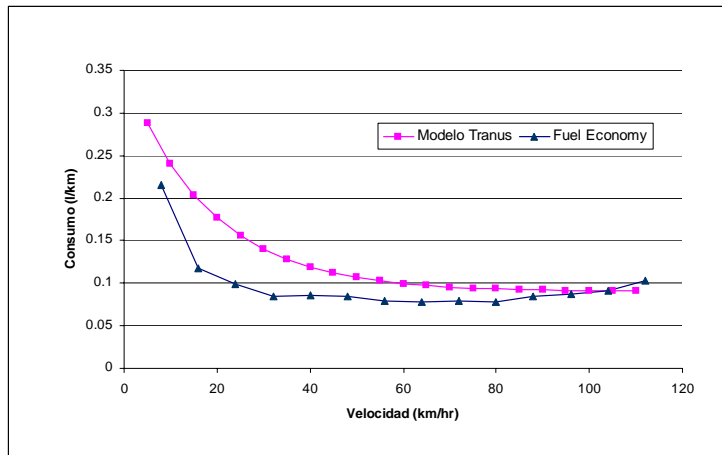
**Figura 6. Curvas de consumo de combustible estimadas por TRANUS para dos tipos de vehículos**



Fuente: Tomado de [http://www.modelistica.com/bajar\\_instalar.htm](http://www.modelistica.com/bajar_instalar.htm) (Tres ejemplos muy sencillos explicados paso a paso; Tutorial; Ejemplo A; Parámetros Transporte Ejemplo A)

Como puede apreciarse en la Figura anterior y en la ecuación de la que se deriva, el modelo asume que el consumo de energía es mínimo cuando la velocidad del vehículo es alta y tiende a infinito. Esto es, se asume como cierto que a velocidades de 90 km/hr y mayores el rendimiento es óptimo, lo cual contraviene los resultados provenientes de mediciones de laboratorio, que muestran que después de alcanzar una velocidad de 90 km/hr, el rendimiento del combustible en los vehículos tiende a disminuir (Figura 7). Sin embargo, se considera que esta limitación del modelo no tendrá impacto en su aplicación para este proyecto en particular, dado que los resultados obtenidos, en cuanto a las velocidades de circulación por tipo de vehículo en la ZMVM, indica que nunca se alcanzan velocidades mayores a los 80 km/h.

**Figura 7. Comparación de datos de consumo a diferentes velocidades entre TRANUS y Fuel Economy para autos particulares.**



Las diferencias en magnitud de los datos mostrados en la gráfica anterior pueden derivar de diferencias tanto por las categorías vehiculares analizadas, como por los años modelos de los vehículos evaluados. Sin embargo, esto no se puede garantizar ya que la curva de referencia de Fuel Economy no está documentada (<http://www.fueleconomy.gov/feg/FEG2005.pdf>), y la de TRANUS sólo refiere la categorías vehiculares pero no los años modelo.

En general, lo que destaca de la Figura 7, es el hecho de que la tendencia de TRANUS en cuanto a rendimientos de combustible, se aproxima a la curva teórica, a pesar de que asumen rendimientos óptimos de combustible a altas velocidades (superiores a 90 km/hr), en tanto que los datos de fuel economy indican que después de 90 km/hr los rendimientos empiezan a decrecer nuevamente.

Una vez hecha esta comparación y asumiendo que los procedimientos de cálculo de consumo de combustible que emplea TRANUS son confiables para al menos el rango de velocidades entre 5 y 80 km/hr, se procedió a aplicar el modelo para estimar los consumos de combustible a diferentes velocidades para la flota vehicular circulante en la ZMVM. Para ello, se emplearon los valores de las variables *min*, *max* y *par* utilizados por ETEISA en su aplicación de TRANUS para el corredor de Eje 8 (ETEISA, 2004), los cuales son mostrados en el Cuadro 11.

**Cuadro 11. Parámetros utilizados para estimar consumo de combustible de diferentes categorías vehiculares a diferentes velocidades**

Parámetro	Categoría vehicular				
	Autobuses y carga	Autos particulares	Combis	Microbuses	Articulados
Min.	0.33	0.09	0.11	0.17	0.52
Máx.	2.3	0.27	0.43	0.95	3.45
Par.	0.063	0.038	0.053	0.063	0.063

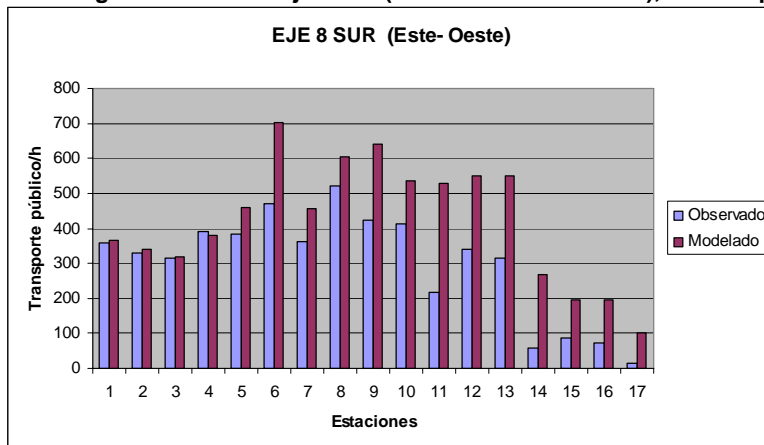
**Fuente:** Hoja de cálculo "Proyeccionestransporte327may.xls" anexa en CD al capítulo 7 "Elementos de Impacto Ambiental del Corredor – Metodología para determinación de la Línea Base de Emisiones de Contaminantes" del reporte generado por ETEISA (2004).

#### IV.4 Calibración del modelo

Como se ha mencionado anteriormente en este reporte Tranus estima el flujo vehicular de un área específica a partir de información sobre localización de actividades, uso de suelo y transporte. Para evaluar el desempeño de TRANUS en su aplicación previa para el corredor de Eje 8 Sur, ETEISA realizó una comparación de los datos estimados por el modelo contra los datos medidos en campo, a través de los aforos vehiculares en el 2003.

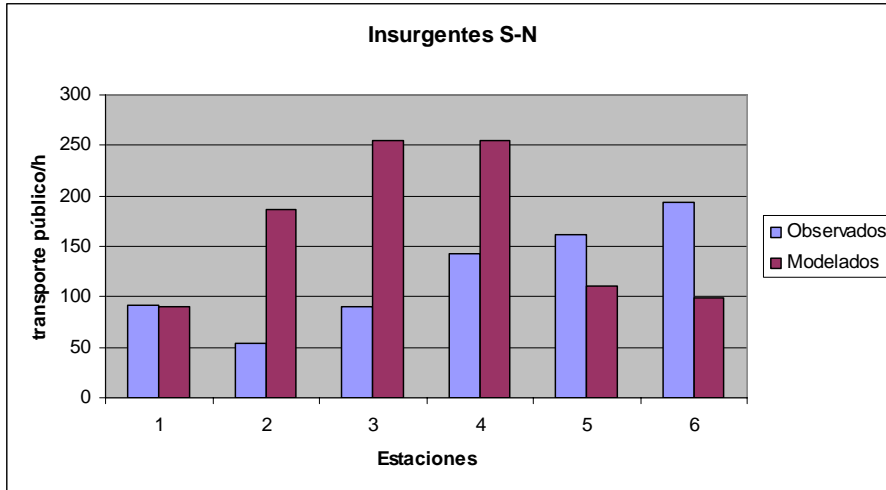
Aunque se sabe que tal comparación se realizó con datos estimados y medidos en diferentes puntos de la ZMVM, a continuación se muestran sólo algunas Figuras de referencia que muestran el desempeño del modelo en los corredores de Eje 8 Sur (Figura 8) e Insurgentes (Figuras 9 y 10), específicamente para dos categorías de transporte: autos particulares y transporte público (todos los operadores en su conjunto).

**Figura 8. Número de vehículos de transporte público medidos y estimados en diferentes puntos a lo largo del Corredor Eje 8 Sur (Dirección Este – Oeste), en hora pico.**



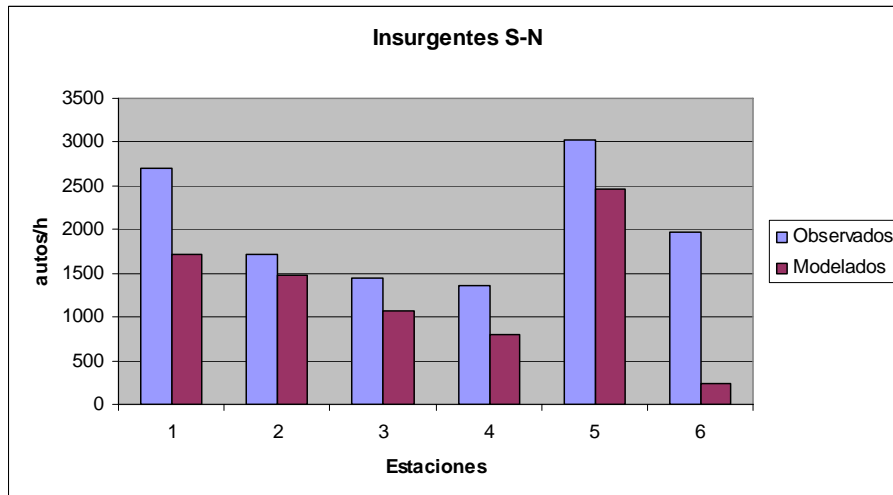
**Fuente:** Calibración de TRANUS (ETEISA, 2004: Archivo electrónico)

**Figura 9. Número de vehículos de transporte público medidos y estimados en diferentes puntos a lo largo del Corredor de Insurgentes (Dirección Sur – Norte), en hora pico.**



Fuente: Calibración de TRANUS (ETEISA, 2004:Archivo electrónico)

**Figura 10. Número de autos particulares medidos y estimados en diferentes puntos a lo largo del Corredor Insurgentes (Dirección Sur – Norte), en hora pico.**



Fuente: Calibración de TRANUS (ETEISA, 2004:Archivo electrónico)

Como se puede apreciar en estas gráficas, el modelo logra representar, en promedio, aproximadamente el 80% de los vehículos particulares y de transporte público reportados por los aforos vehiculares del 2003 en los corredores Insurgentes y Eje 8 Sur.

#### IV.5 Escenarios Evaluados

A continuación se describen las principales características de cada uno de los dos escenarios evaluados en este trabajo.

#### **IV.5.1. Escenario 1 (Sin corredores)**

Supone que no se implanta ningún corredor de transporte público. El propósito principal de este escenario es servir de base de comparación para el escenario en el que si se implantan los corredores. Incluye algunos proyectos que modifican la vialidad actual, principalmente el conocido como 'Segundo Piso del Periférico Sur', que combina con el actual Distribuidor San Antonio.

En este escenario se estiman los kilómetros anuales recorridos por categoría vehicular a diferentes velocidades promedio (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80 km/hr), así como el consumo de combustible requerido para recorrer estos kilómetros, diferenciando vehículos a diesel y a gasolina, para el periodo 2002 – 2020 bajo las siguientes consideraciones específicas:

- Hay cambios en la infraestructura vial actual, sólo por la construcción del segundo piso de periférico.
- No hay cambios en la oferta operativa del transporte público (número de rutas, nodos, enlaces, etc.)
- Crecimiento poblacional anual de 1.4 % en el periodo 2002- 2007 y del 1.3 % en el periodo 2008 – 2020.
- Crecimiento anual del empleo de 1.5 % en el periodo 2002 -2007 y del 1.4 % en el periodo 2008 – 2020.
- Los valores asignados a los atributos ligados con las variables que caracterizan a la flota vehicular de la ZMVM (público, privado y carga), se mantuvieron iguales a los indicados en las secciones IV.1 y IV.2.

El crecimiento de población y empleo (positivo o negativo), esperado en cada uno de los sectores se puede ingresar en zonas específicas como un monto global para el área de estudio. En este caso se desagregaron a nivel de zona para los periodos 2003-2007 y 2008 – 2013 (Anexo X)

Para este escenario, solo se ingresó el modo de transporte carga, explicado anteriormente, siendo el único cambio hecho al archivo base generado por ETEISA para la evolución del corredor de transporte Eje 8 sur.

#### **IV.5.2 Escenario 2 (Con corredores)**

En este escenario se consideró la introducción de un sistema de 33 corredores de transporte público (SETRAVI, 1999) de acuerdo al calendario supuesto para este proyecto e ilustrado en el Cuadro 12.

En el caso de Insurgentes y Eje 8 Sur, las diferentes referencias origen – destino mostradas en el Cuadro tienen correspondencia con los diferentes servicios que se ofertarían en cada corredor, de acuerdo con los trabajos realizados por las empresas ETEISA (Eje8 Sur) y GETINSA (Insurgentes), quienes evaluaron las diferentes opciones de operación de estos corredores. El detalle sobre cada servicio ofrecido en cada corredor puede ser consultado en los documentos: "Diseño conceptual, funcional, operacional y proyecto ejecutivo del corredor estratégico Insurgentes" y "Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor estratégico eje 8 sur", ambos incluidos en el Anexo XI (Reportes\_Eteisa\_Getinsa)

**Cuadro 12. Calendario de introducción de los corredores de transporte público**

<b>Año de Entrada</b>	<b>Nombre del Corredor</b>	<b>Origen – Destino</b>	<b>Distancia (km)</b>
2005	Insurgentes	Indios Verdes – Glorieta	17.9
		Indios Verdes – Eje 8 – Relox	37.4
2006	Eje 8 sur	Sta. Martha – Constitución	13.7
		Sta. Martha – Zapata	36.9
		Constitución – Mixcoac	28.2
		Sta. Martha – Mixcoac	41.9
2007	Calzada de Tlalpan	Izazaga- San Fernando	43.9
	Eje Central	Ricarte- Av Río Churubusco	29.7
	Fray Servando	Niños Héroes- Av. Ing. J. Galindo	11.5
	Calzada Ignacio Zaragoza	Eje 3 Oriente – Eje 8 sur	25.3
	Eje 1 Poniente	Ricarte – Río Churubusco	30.3
2008	Avenida México Tacaba	Eje Central - Periférico	17.2
	Eje 1 Oriente	Circuito Interior Río consulado – Cto. Interior Río Churubusco	20.0
	Eje 4 sur	Patriotismo – Canal san Juan	20.4
	Eje 2 Oriente	Circuito Interior Río Consulado – Cto. Interior Río Churubusco	17.5
	Eje 1 Norte	Eje central- Río Churubusco	16.0
2009	Avenida Revolución	Benjamín Frankin – eje 10 sur	15.8
	Avenida Constituyentes	Paseo de la Reforma – circuito Interior	15.9
	Miguel Ángel de Quevedo	Calz. Miramontes - Insurgentes	9.7
	Avenida Central	Av. 412 – Vía López Mateos	33.9
	Eje 3 Norte	Ciz. Armas – Av. Oceanía	21.3
2010	Eje 5 Norte	Aquiles Serdán- Av. Central	26.4
	Canal de Miramontes	Calz. Taxqueña - Periférico	13.3
	Rojo Gómez	Calzada Ignacio Zaragoza – eje 8 sur	11.0
	Periférico Sur	Canal de Chalco - Vaqueritos	9.8
	Periférico (Palmas – Barranca del muerto)	Palmas- Barranca del muerto	16.2
2011	Periférico (Barranca del muerto – Vaqueritos)	Barranca del muerto - Vaqueritos	42.9
	Eje 3 Oriente	Periférico – Av. San Juan de Aragón	37.4
	Periférico Norte (Autopista México Querétaro)	Barranca del muerto – Autopista México Querétaro	33.6
	Avenida San Mateo	Av. Hidalgo –Blv. Misterios	7.4
	Eje 10 sur	Insurgentes- División del Norte	7.4
2012	Eje 5 Sur	Guelatao – Av. San Antonio	16.2
	Eje 6 Sur	Guelatao – Av San Antonio	14.7
	Xochimilco - Tulyehualco	Periférico- Av. La morena	27.0
	Av Miguel Hidalgo	López Mateos- Av. Transmetropolitana	65.9
	Eje 2 Norte	Cuitlahuac – Av. Oceanía	18.8
	Vía López Portillo- Luis Donaldo Colosio	Blv. Anahuac – Av. Izcalli	15.8

En cuanto a las características de ingeniería consideradas en este sistema de corredores se puede destacar que se trata de un sistema troncal operando con autobuses articulados de alta capacidad con circulación en carriles confinados con estaciones controladas, y en el caso particular del corredor de Eje 8 Sur con posibilidad de sobrepaso (rebase) de las unidades. El sistema troncal estaría complementado por redes de alimentación, que operarían en las vialidades normales simplemente acondicionadas y ya sea con autobuses, minibuses, microbuses o combis de acuerdo a las condiciones de la demanda y las posibilidades físicas de las mismas.

Una suposición fundamental en este trabajo radica en que el sistema operaría con una tarifa única de \$ 3.50 y no habría una tarifa adicional por el trasbordo. Así, por ejemplo, un usuario que aborde un minibus, microbús, autobús o combi de alimentación pagará \$ 3.50 y podrá realizar los trasbordos que considere convenientes, ya sea de una unidad de alimentación a otra o al sistema troncal, sin costo adicional. De igual manera puede terminar su viaje en otra ruta complementaria e integrada, sin pago de trasbordo. Este supuesto, hecho originalmente por ETEISA, tiene su base en la idea de que un sistema de estas características incrementaría las posibilidades de éxito del mismo al promover un cambio en la preferencia de los usuarios para usar sistemas de transporte público en lugar de los vehículos particulares, a través del establecimiento de este tipo de tarifas.

En el sistema troncal operarían autobuses articulados ofreciendo un servicio normal (parando en todas las estaciones), y en el caso de Eje 8 Sur con servicios normal y expreso (parando en un número determinado de estaciones). El número de estaciones por corredor y la distancia promedio entre estaciones en cada corredor es mostrado en el Cuadro 13. Cabe decir que el número de estaciones en los corredores de Insurgentes y Eje 8 Sur corresponden a la propuesta original de las empresas ETEISA (2004) y GETINSA (2004). En tanto que para ubicar las estaciones de cada uno de los restantes 31 corredores se tomó como referencia la encuesta Origen – Destino desarrollado por ETEISA en 2003. Esta encuesta incluye información respecto a las diferentes rutas de transporte público que hay en la ZMVM, así como datos relativos a los sitios donde el ascenso y descenso de pasajeros es particularmente más grande que en el resto de la ruta. Así que esta información fue utilizada como una referencia para establecer los sitios donde se ubicarían las diferentes estaciones de cada corredor. Esto es, en los puntos donde la encuesta origen – destino indicaba los valores más altos de ascenso y descenso de pasajeros dentro de cada ruta se ubicaron las estaciones de cada corredor. Adicionalmente se usaron criterios tales como:

- Ubicación de estaciones en entronques de avenidas que permitan el ascenso y descenso de pasaje y/o corredores de transporte ya definidos,
- Ubicación de estaciones cerca de las estaciones del metro, y;
- Se evitó ubicar estaciones cerca de las avenidas donde se cortara la circulación.

**Cuadro 13. Número de estaciones y distancia promedio entre estaciones por corredor de transporte**

Año de Entrada	Nombre del Corredor	No. de estaciones propuesta	Distancia promedio entre estaciones (kms)
2005	Insurgentes	40*	0.398
2006	Eje 8 Sur	41*	0.637
2007	Calzada de Tlalpan	36	0.570
	Eje Central	52	0.685
	Fray Servando	29	0.304
	Calzada Ignacio Zaragoza	19	0.290
	Eje 1 Poniente	46	0.328
2008	Av. México – Tacuba	18	0.477
	Eje 1 Oriente	26	0.444
	Eje 4 Sur	26	0.291
	Eje 2 Oriente	18	0.315
2009	Eje 1 Norte	27	0.422
	Av. Revolución	20	0.353
	Av. Constituyentes	7	0.761
	Miguel Angel de Quevedo	20	0.507
	Avenida Central	17	0.613
2010	Eje 3 Norte	18	1.000
	Eje 5 Norte	20	0.434
	Canal de Miramontes	11	0.547
	Rojo Gómez	12	0.798
	Periférico Sur	18	0.593
2011	Periférico (Palmas – Barranca del Muerto)	13	0.551
	Periférico (Barranca del Muerto – Vaqueritos)	40	0.760
	Eje 3 Oriente	50	0.472
	Periférico Norte (Autopista México – Querétaro)	18	0.411
	Av. San Mateo	18	1.900
2012	Eje 10 Sur	32	0.472
	Eje 5 Sur	28	0.429
	Eje 6 Sur	26	0.906
	Xochimilco – Tulyehualco	5	1.100
	Av. Miguel Hidalgo	26	1.950
	Eje 2 Norte	9	0.566
	Vía López Portillo – Luis Donaldo Colosio	10	2.300

\* El número de estaciones considerado en el corredor de Insurgentes durante la modelación fue de 40, de acuerdo a la evaluación desarrollada por Getinsa para este corredor; sin embargo, el número real de estaciones construidas fue de 34.

El detalle sobre la distancia específica entre cada estación en cada corredor considerado, así como la demanda estimada por estación es presentada en el Anexo XII (Demanda)

En este escenario se estiman los kilómetros recorridos anuales por categoría vehicular a diferentes velocidades promedio (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, y 80 km/hr), así como el consumo de combustible requerido para recorrer estos kilómetros, diferenciando vehículos a diesel y a gasolina, para el periodo 2002 – 2020 bajo las siguientes consideraciones específicas:

- Crecimiento poblacional anual de 1.4 % en el periodo 2002- 2007 y del 1.3 % en el periodo 2008 – 2020.
- Crecimiento anual del empleo de 1.5 % en el periodo 2002 -2007 y del 1.4 % en el periodo 2008 – 2020.

El crecimiento de población y empleo (positivo o negativo), esperado en cada uno de los sectores se puede ingresar en zonas específicas como un monto global para el área de estudio. En este caso se desagregaron a nivel de zona para los periodos 2003-2007 y 2008 – 2013 (Anexo XIII).

- Se asume que todos los corredores operan sobre un carril confinado por sentido, sin posibilidad de sobrepaso ni en tramos ni en estaciones (excepto Eje 8 Sur).
- Se considera que en todos los corredores excepto Eje 8 Sur, hay únicamente un tipo de servicio llamado normal o corriente que se caracteriza por que los autobuses circulan a una velocidad de entre 25 y 27 km por hora y para en todas las estaciones.
- El corredor de Eje 8 Sur, además del servicio normal ofrece el servicio expreso que se caracteriza por que los autobuses circulan a una velocidad de 32 km por hora y paran sólo en un número determinado de estaciones, de acuerdo con la propuesta original de ETEISA (2004).
- Introducción de vehículos nuevos de transporte público (autobús articulado de alta capacidad) para circular sobre los corredores de transporte público de acuerdo a las cantidades señaladas en el Cuadro 14.

**Cuadro 14. Número de autobuses articulados en circulación por corredor.**

<b>Año de Entrada</b>	<b>Nombre del Corredor</b>	<b>Número de vehículos Articulados propuestos</b>
2005	Insurgentes	132*
2006	Eje 8 sur	247
2007	Calzada de Tlalpan	181
	Eje Central	199
	Fray Servando	46
	Calzada Ignacio Zaragoza	129
	Eje 1 Poniente	207
2008	Avenida México Tacuba	105
	Eje 1 Oriente	140
	Eje 4 sur	146
	Eje 2 Oriente	107
	Eje 1 Norte	88
2009	Avenida Revolución	87
	Avenida Constituyentes	88
	Miguel Ángel de Quevedo	33
	Avenida Central	149
	Eje 3 Norte	158
2010	Eje 5 Norte	145
	Canal de Miramontes	61
	Rojo Gómez	42
	Periférico Sur	34
	Periférico (Palmas – Barranca del muerto)	92
2011	Periférico (Barranca del muerto – Vaqueritos)	111
	Eje 3 Oriente	210
	Periférico Norte (Autopista México Querétaro)	145
	Avenida San Mateo	19
	Eje 10 sur	19

2012	Eje 5 Sur	76
	Eje 6 Sur	92
	Xochimilco - Tulyehualco	153
	Av Miguel Hidalgo	287
	Eje 2 Norte	124
	Vía López Portillo- Luís Donaldo Colosio	87

\* El número de vehículos originalmente sugerido por la empresa consultora GETINSA proponía el uso de 132 vehículos para cubrir la demanda de transporte en el corredor de Insurgente; Sin embargo, el número real de vehículos actualmente en operación es de 80 unidades.

El número de vehículos propuestos a circular en cada corredor fue estimado internamente por el modelo TRANUS a partir de la demanda de transporte calculada para cada par de nodos origen – destino dentro de cada corredor y de la demanda total de éste, así como de la capacidad de los autobuses que teóricamente circularían en cada uno de ellos (en este caso asumida en 150 pasajeros por unidad), del número de estaciones considerada y del tiempo de promedio de parada, entre otras variables. El detalle sobre el procedimiento de este cálculo puede ser consultado en los manuales de TRANUS.

([http://www.modelistica.com/bajar\\_instalar.htm](http://www.modelistica.com/bajar_instalar.htm)).

- Los valores asignados a los atributos ligados con las variables que caracterizan a la flota vehicular de la ZMVM (público, privado y carga), se mantuvieron iguales a los indicados en las secciones IV.1 y IV.2, excepto las siguientes:
  - *Tipo de operadores:* en este escenario se toma en cuenta al operador Autobús articulado normal y expreso, no considerados en el escenario sin corredores.
  - *Rutas:* Se hicieron adiciones, modificaciones y/o eliminación de rutas de transporte de acuerdo a las características específicas de cada corredor (Ver detalle en el Anexo XIV).
  - *Nodos:* El número de nodos cambia en este escenario de acuerdo al calendario de ingreso de los corredores de transporte público y por ello a partir del 2012 se mantienen constantes. Los cambios en número son ilustrados en el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Número de nodos adicionados por año.**

Año de evaluación	Rango de códigos de nodos incrementados	Número de nodos
2005	901169 a 901204	36
2006	901111 a 901168	58
2007	901320 a 901459	140
2008	901460 a 901590	131
2009	901591 a 901667	77
2010	901668 a 901737	70
2011	901738 a 901853	186
2012	901854 a 901965	112

- *Enlaces:* el número de enlaces para este escenario van cambiando con la introducción de los corredores de transporte, dependiendo del número de nodos definidos para cada año. Los valores de nodo origen y destino, dirección, tipo de vía definido en este escenario puede ser consultada en el archivo **Enlaces.exe** anexo al documento (Anexo VIII). A partir del año 2012, el número de enlaces se mantiene constante.

## V. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en términos de kilómetros recorridos por tipo de vehículo a diferentes velocidades promedio, así como el consumo de combustible por tipo de vehículo, para los dos escenarios considerados en el estudio. Cabe decir que en ambos casos los resultados están referido al periodo de simulación de una hora pico (7:00 – 8:00 hrs de la mañana).

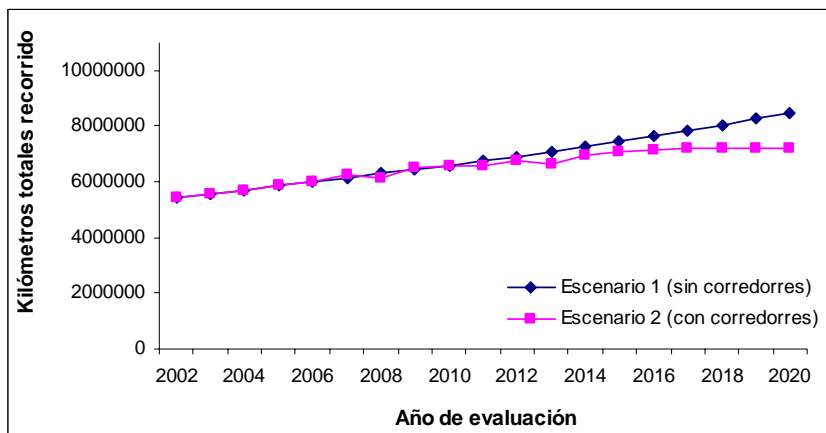
### V.1. Actividad vehicular (Kilómetros recorridos)

En esta sección se presentan los resultados obtenidos sobre kilómetros recorridos por tipo de vehículo u operador en toda la ZMVM, bajo las consideraciones específicas de los dos escenarios ya descritos.

#### V.1.1. Vehículos Particulares

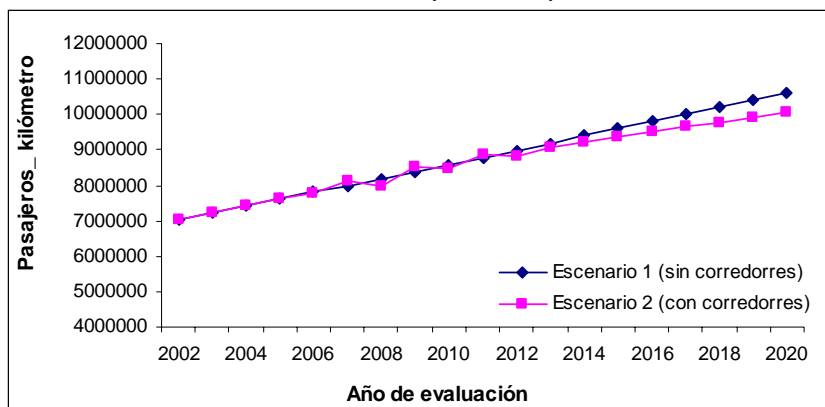
La Figura 11 muestra un comparativo de los kilómetros recorridos en hora pico por la categoría de autos particulares en ambos escenarios. En ella se observa que en general los kilómetros recorridos por este tipo de operador son muy elevados, lo cual no sorprende pues se sabe que esta categoría vehicular representa un porcentaje muy elevado respecto del total de kilómetros recorridos en la ZMVM. Igualmente se aprecia que a partir de la virtual entrada en operación de los corredores en el 2005 (Escenario 2), el kilometraje total recorrido por esta categoría vehicular empieza a decender con respecto al Escenario 1 (Sin corredores), siendo esto más notable a partir del 2012 cuando se asume que ya todo el sistema de corredores está implementado. Para este año la diferencia en el número de kilómetros recorridos en hora pico entre un escenario y otro fue de aproximadamente 143,000 kms, en tanto que al 2020 dicha diferencia es de poco más de 1.5 millones de kilómetros.

Figura 11. Kilómetros totales recorridos por vehículos particulares en hora pico en la ZMVM (2002-2020)



Por otra parte, la Figura 12 y el Cuadro 16 ilustran la contribución de los autos particulares en términos del número de pasajeros transportados por kilómetro recorrido. En ellos es evidente que una vez que están virtualmente implementados todos los corredores del sistema de transporte (2012) considerados en el Escenario 2, el número de pasajeros transportados por esta categoría vehicular es menor que el estimado para el Escenario sin corredores.

**Figura 12. Pasajeros\_kilómetros transportados por vehículos particulares en la ZMVM (2002-2020)**

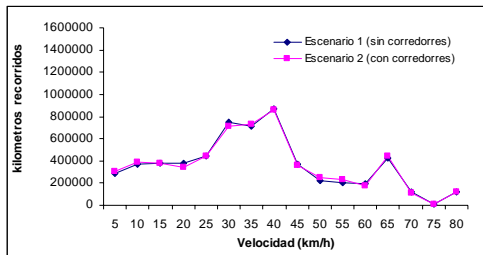


**Cuadro 16. Pasajeros\_kilómetros transportados por vehículos particulares en la ZMVM (2002-2020)**

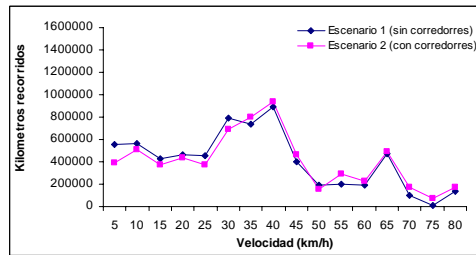
Año	Esenario 1 (sin corredores)	Escenario 2 (con corredores)
2002	7030599	7030599
2003	7221878	7221878
2004	7414149	7414149
2005	7607412	7612886
2006	7801667	7791909
2007	7996914	8146165
2008	8193153	7997389
2009	8390385	8497281
2010	8588608	8464979
2011	8787823	8863890
2012	8988031	8869000
2013	9189231	8464979
2014	9391422	8863890
2015	9594606	8869000
2016	9798782	9097871
2017	10003950	9271131
2018	10210110	9441836
2019	10417262	9609983
2020	10625406	9775573

La preferencia por un tipo de vehículo, se da no sólo por la comodidad y factibilidad económica, sino también por el tiempo invertido o requerido para hacer un recorrido, por lo que la velocidad a la cual se recorren estos kilómetros es un buen indicador del porqué se prefiere uno u otro tipo de transporte. Las Figuras 13 a 16 muestran el comportamiento de los kilómetros recorridos por los autos particulares a diferentes velocidades para los años 2005, 2010, 2015 y 2020 bajo las condiciones de los dos escenarios evaluados.

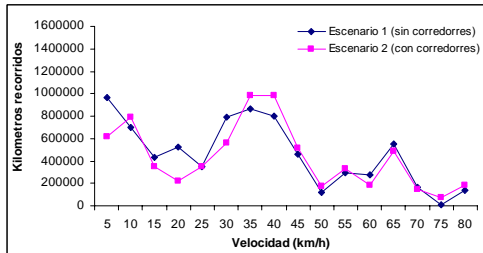
**Figura 13. Kilómetros recorridos por vehículos particulares en la ZMVM a diferentes velocidades en el año 2005**



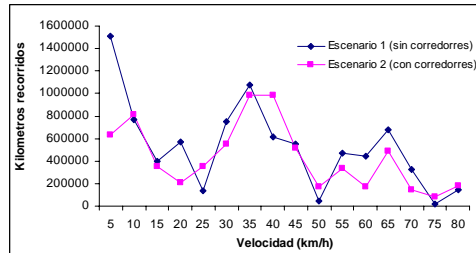
**Figura 14. Kilómetros recorridos por vehículos particulares en la ZMVM a diferentes velocidades en el año 2010**



**Figura 15. Kilómetros recorridos por vehículos particulares en la ZMVM a diferentes velocidades en el año 2015**



**Figura 16. Kilómetros recorridos por vehículos particulares en la ZMVM a diferentes velocidades en el año 2020**



La información detallada sobre la evolución del número de kilómetros recorridos en hora pico a diferentes velocidades por los autos particulares en la ZMVM durante el periodo de análisis y bajo las condiciones de los dos escenarios evaluados son mostrados en los Cuadros 17 y 18.

**Cuadro 17. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por vehículos particulares a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 1 (Sin corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	188067	211811	331430	330144	384109	702245	732407	813754	370012	156523	238578	241683	412997	175827	5879	112686
2003	215180	265819	348936	348470	409624	720070	720779	837301	369128	183662	222339	223320	414598	153738	5830	116498
2004	247749	317087	364813	366198	430495	736109	712766	856802	369506	204881	209499	208405	417740	135252	5837	120051
2005	285776	365615	379059	383330	446722	750362	708370	872259	371148	220181	200059	196938	422424	120369	5901	123346
2006	329259	411401	391675	399866	458305	762828	707589	883670	374052	229561	194017	188918	428650	109089	6022	126381
2007	378199	454448	402662	415804	465244	773508	710424	891035	378220	233021	191375	184346	436417	101413	6200	129158
2008	432596	494754	412019	431146	467539	782402	716875	894355	383651	218723	192132	183222	445726	97340	6435	131676
2009	492450	532320	419745	445890	465189	789509	726942	893630	390344	204424	196288	185545	456576	96870	6726	133935
2010	557760	567145	425842	460038	458195	794829	740625	888859	398301	190126	203843	191316	468968	100004	7075	135936
2011	628528	599230	430309	473590	446557	798364	757923	880043	407520	175827	214797	200535	482901	106741	7480	137677
2012	704752	628574	433146	486544	430275	800112	778838	867182	418003	161529	229150	213202	498376	117081	7942	139160
2013	786433	655178	434353	498902	409349	800074	803368	850275	429749	147231	246902	229316	515392	131024	8461	140384
2014	873571	679041	433930	510662	383778	798249	831515	829323	442757	132932	268054	248878	533951	148571	9037	141349
2015	966166	700164	431877	521826	353564	794638	863277	804326	457029	118634	292604	271888	554050	169721	9669	142056
2016	1064218	718547	428195	532394	318705	789241	898655	775283	472563	104335	320554	298346	575691	194474	10359	142503
2017	1167726	734189	422882	542364	279202	782057	937649	742195	489361	90037	351903	328251	598874	222831	11105	142692
2018	1276691	747091	415939	551738	235055	773087	980259	705062	507422	75739	386651	361604	623598	254791	11908	142622
2019	1391113	757252	407367	560514	186264	762330	1026485	663883	526745	61440	424798	398405	649864	290354	12768	142293
2020	1510992	764673	397165	568694	132828	749788	1076326	618658	547332	47142	466344	438653	677672	329520	13685	141706

**Cuadro 18. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por vehículos particulares a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	188067	211811	331430	330144	384109	702245	732407	813754	370012	156523	238578	241683	412997	175827	5879	112686
2003	215180	265819	348936	348470	409624	720070	720779	837301	369128	183662	222339	223320	414598	153738	5830	116498
2004	247749	317087	364813	366198	430495	736109	712766	856802	369506	204881	209499	208405	417740	135252	5837	120051
2005	301425	386110	382630	339885	447334	714677	728234	855886	358336	250867	233300	171609	445964	110999	9638	119168
2006	419729	434449	325395	436799	410792	694489	716601	916046	403599	199000	189594	209048	419658	112863	9785	128497
2007	321091	458923	314535	377248	452580	752880	776213	936686	474834	156537	221888	238018	512137	109906	26237	136575
2008	265878	383640	302606	334347	389258	616973	830170	1037453	504054	134171	228640	221246	568573	136440	9766	188626
2009	496461	511194	386544	424552	340258	669636	821182	942388	464881	149880	205064	271327	510128	129814	69490	143578
2010	391287	508979	372116	435585	373183	694824	803970	934210	467209	154232	291606	226515	493938	169001	70503	171371
2011	419729	459633	362587	428577	363346	675711	854831	941604	480437	155306	301222	258917	491343	165525	72549	174757
2012	525727	638101	357909	316443	356788	614193	901169	963792	499691	166335	315618	217209	489149	154989	74982	178985
2013	578726	727335	355570	260376	353509	583434	974886	974886	509318	169975	322816	196355	488052	149721	76199	181099
2014	605226	771952	354401	232343	351870	568055	980433	980433	514132	171176	326415	185928	487504	147087	76807	182156
2015	618475	794261	353816	218326	351050	560365	983207	983207	516538	171572	328215	180715	487229	145770	77111	182685
2016	625100	805415	353523	211317	350640	556520	984593	984593	517742	171703	329114	178108	487092	145112	77263	182949
2017	628413	810992	353377	207813	350435	554597	985287	985287	518343	171746	329564	176804	487024	144782	77339	183081
2018	630069	813780	353304	206061	350332	553636	985633	985633	518644	171760	329789	176153	486989	144618	77377	183147
2019	630897	815175	353268	205185	350281	553156	985807	985807	518795	171765	329902	175827	486972	144535	77396	183180
2020	631311	815872	353249	204747	350256	552915	985893	985893	518870	171766	329958	175664	486964	144494	77405	183196

### V.1.2. Vehículos de transporte público

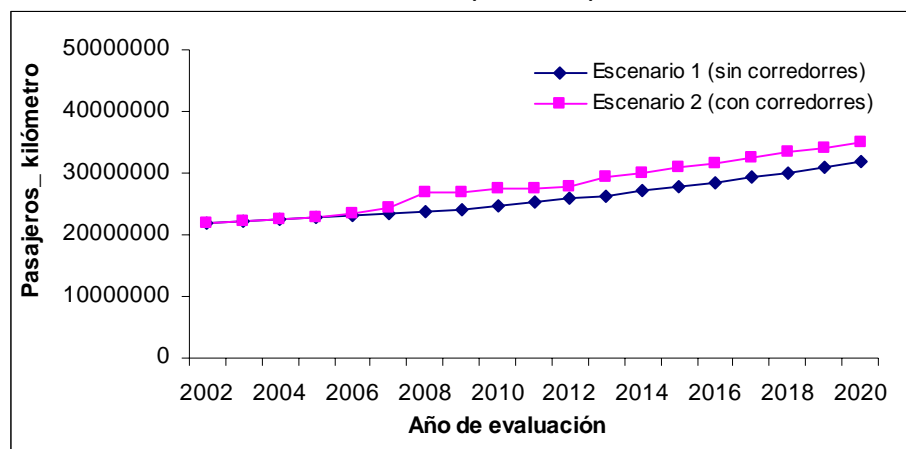
El sistema de transporte público incluye los siguientes operadores o tipos de vehículo:

- Autobús del Distrito Federal (RTP)
- Metro neumático
- Tren ligero
- Combi
- Autobús del Estado de México
- Metro férreo (Línea A)
- Trolebús
- Colectivo (Microbús)
- Autobús articulado circulando fuera de corredores de transporte.
- Alimentador troncal de autobús (Autobuses RTP que recorren rutas alimentadoras a estaciones de un corredor de transporte, cuando lo hay)
- Alimentador troncal de minibús (Minibús que recorre rutas alimentadoras a estaciones de un corredor de transporte público, cuando lo hay)
- Autobús articulado normal (circulando en los corredores)
- Autobús articulado expreso (circulando en los corredores)

Esta es la parte medular de este trabajo puesto que la medida evaluada a través de los Escenarios 1 y 2 implica un cambio estructural en el sistema de transporte público de la ZMVM.

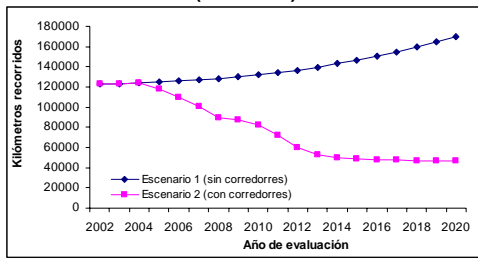
La Figura 17 muestra la contribución del transporte público (incuyendo todos operadores de esta categoría), en términos del número de pasajeros transportados por kilómetro recorrido

**Figura 17. Pasajeros\_kilómetro transportados por transporte público en la ZMVM (2002-2020)**

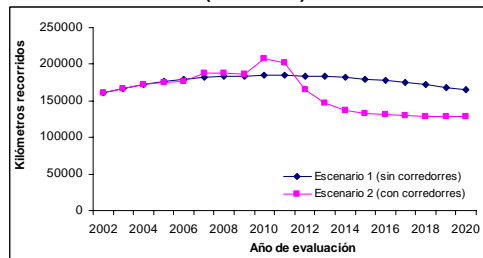


Las Figuras 18 a 22 muestran la tendencia esperada para ambos escenarios respecto al número de kilómetros totales recorridos por diferentes operadores de transporte público.

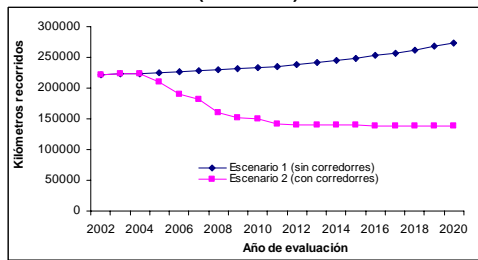
**Figura 18. Kilómetros totales recorridos por Autobuses del D.F. en hora pico en la ZMVM (2002-2020)**



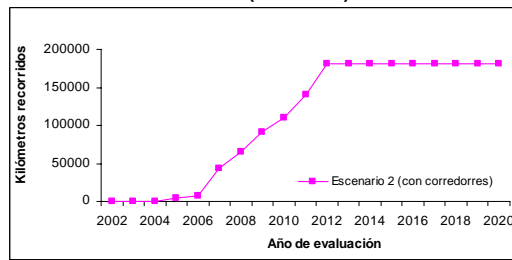
**Figura 19. Kilómetros totales recorridos por Autobuses del Edomex, en hora pico en la ZMVM (2002-2020)**



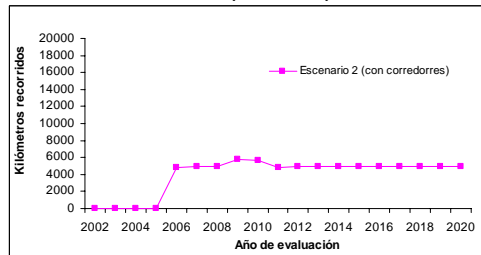
**Figura 20. Kilómetros totales recorridos por Microbuses, en hora pico en la ZMVM (2002-2020)**



**Figura 21. Kilómetros totales recorridos por Autobuses articulados que ofrecen servicio normal en hora pico en la ZMVM (2002-2020)**

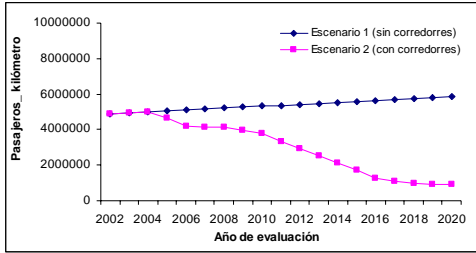


**Figura 22. Kilómetros totales recorridos por Autobuses articulados que ofrecen servicio expres en hora pico en la ZMVM (2002-2020)**

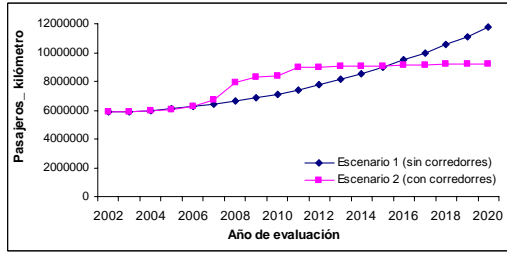


Dado que es importante observar la forma en que cambia a través del tiempo el número de pasajeros transportados por kilómetro recorrido sin y con la virtual implantación de los corredores, las Figuras 23 a 27 muestran dicha evolución para diferentes operadores del transporte público.

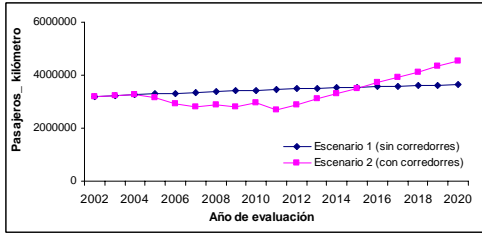
**Figura 23. Pasajeros\_kilómetro transportados por Autobuses del D.F.**



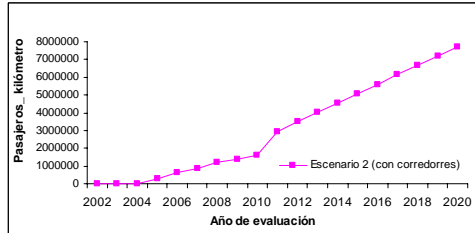
**Figura 24. Pasajeros\_kilómetro transportados por Autobuses del Edomex**



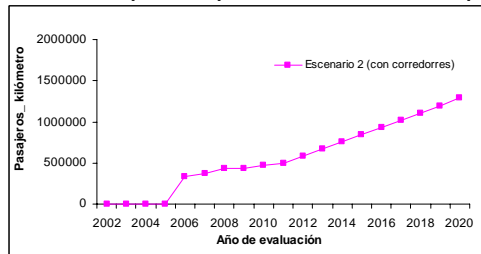
**Figura 25. Pasajeros\_kilómetro transportados por Microbuses**



**Figura 26. Pasajeros\_kilómetro transportados por Autobuses articulados que ofrecen servicio normal**



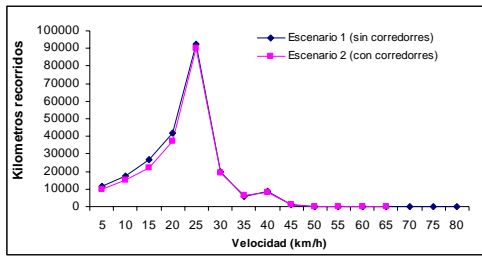
**Figura 27. Pasajeros\_kilómetro transportados por Autobuses articulados que ofrecen servicio expres**



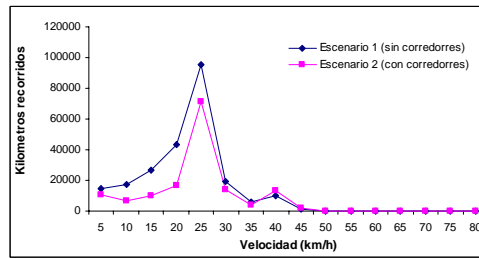
La velocidad a la cual se recorren estos kilómetros es un factor determinante para guiar las preferencias del usuario, por ello en las Figuras 28 a 35 se muestra la variación del kilometraje recorrido a diferentes velocidades para los años 2005, 2010, 2015 y 2020 para microbuses, autobuses del D.F. y combis.

La información detallada sobre la evolución del número de kilómetros recorridos en hora pico a diferentes velocidades por cada uno de los operadores considerados en la categoría de transporte público durante el periodo de análisis y bajo las condiciones de los dos escenarios evaluados son mostrados en los Cuadros 19 a 40.

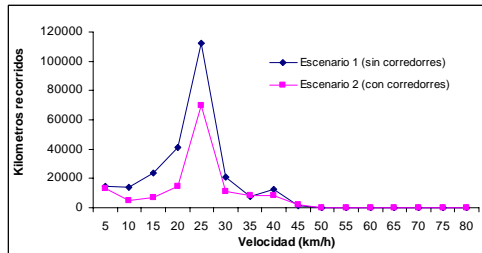
**Figura 28. Kilómetros recorridos por microbuses a diferentes velocidades en el año 2005**



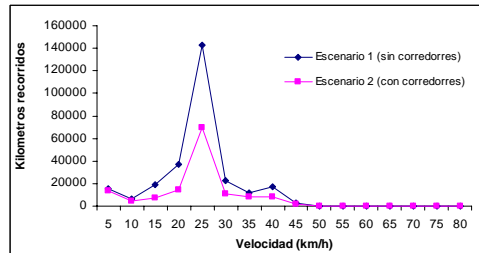
**Figura 29. Kilómetros recorridos por microbuses a diferentes velocidades en el año 2010**



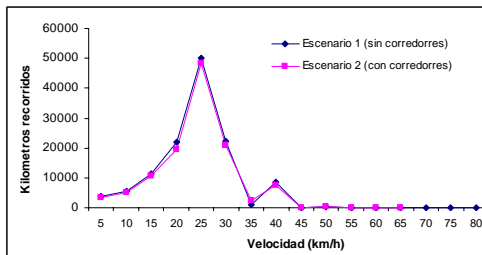
**Figura 30. Kilómetros recorridos por microbuses a diferentes velocidades en el año 2015**



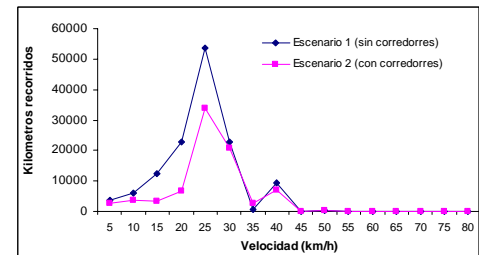
**Figura 31. Kilómetros recorridos por microbuses a diferentes velocidades en el año 2020**



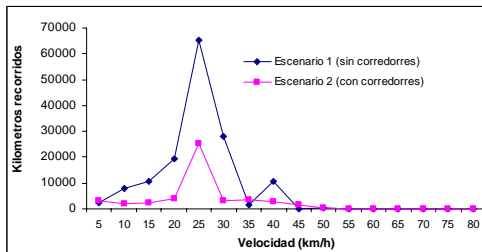
**Figura 32. Kilómetros recorridos por autobuses del D.F. a diferentes velocidades en el año 2005**



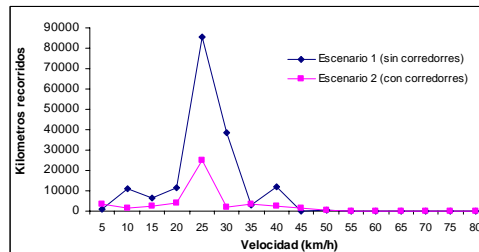
**Figura 33. Kilómetros recorridos por autobuses del D.F. a diferentes velocidades en el año 2010**



**Figura 34. Kilómetros recorridos por autobuses del D.F. a diferentes velocidades en el año 2015**



**Figura 35. Kilómetros recorridos por autobuses del D.F. a diferentes velocidades en el año 2020**



**Cuadro 19.. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús del D.F. (RTP) a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 1 (Sin corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	1470	5647	9576	19228	52083	24394	1613	8063	293	365	0	0	0	0	0	0
2003	2399	5514	10310	20293	51097	23484	1391	8193	216	371	0	0	0	0	0	0
2004	3158	5432	10937	21181	50447	22775	1204	8334	151	376	0	0	0	0	0	0
2005	3749	5403	11457	21894	50131	22267	1052	8485	96	381	0	0	0	0	0	0
2006	4170	5426	11870	22432	50150	21960	936	8646	53	386	0	0	0	0	0	0
2007	4423	5501	12177	22793	50505	21853	854	8818	20	391	0	0	0	0	0	0
2008	4169	5628	12377	22979	51195	21947	807	9000	20	396	0	0	0	0	0	0
2009	3914	5807	12470	22988	52219	22242	796	9193	20	400	0	0	0	0	0	0
2010	3660	6039	12456	22822	53579	22737	820	9397	21	404	0	0	0	0	0	0
2011	3405	6322	12335	22481	55274	23433	878	9611	21	408	0	0	0	0	0	0
2012	3151	6658	12108	21963	57304	24330	972	9835	21	412	0	0	0	0	0	0
2013	2897	7046	11774	21270	59669	25428	1101	10070	21	416	0	0	0	0	0	0
2014	2642	7486	11333	20400	62369	26726	1265	10315	21	419	0	0	0	0	0	0
2015	2388	7978	10785	19355	65404	28225	1464	10571	22	422	0	0	0	0	0	0
2016	2133	8522	10130	18135	68775	29925	1698	10837	22	425	0	0	0	0	0	0
2017	1879	9118	9369	16738	72480	31825	1967	11114	22	428	0	0	0	0	0	0
2018	1625	9766	8501	15166	76520	33926	2271	11401	22	431	0	0	0	0	0	0
2019	1370	10467	7526	13417	80896	36228	2611	11699	22	433	0	0	0	0	0	0
2020	1116	11219	6444	11493	85607	38731	2985	12007	23	435	0	0	0	0	0	0

**Cuadro 20. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús del D.F. (RTP) a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	1470	5647	9576	19228	52083	24394	1613	8063	293	365	0	0	0	0	0	0
2003	2399	5514	10310	20293	51097	23484	1391	8193	216	371	0	0	0	0	0	0
2004	3158	5432	10937	21181	50447	22775	1204	8334	151	376	0	0	0	0	0	0
2005	3314	5122	10595	19645	48348	20912	2306	7611	22	428	0	0	0	0	0	0
2006	4251	5245	8835	16802	45688	19063	2432	7190	21	415	0	0	0	0	0	0
2007	1612	4632	5623	11909	42821	23424	1938	8524	23	456	0	0	0	0	0	0
2008	535	2782	4989	7053	38797	21439	5128	8442	331	452	0	0	0	0	0	0
2009	1041	3885	3127	7053	37085	20678	3912	9404	331	452	0	0	0	0	0	0
2010	2718	3798	3419	6723	33948	20802	2838	7175	23	452	0	0	0	0	0	0
2011	988	4796	2714	5400	30401	16408	3805	7513	23	452	0	0	0	0	0	0
2012	2208	3194	2549	4629	27710	9279	3716	5086	885	452	0	0	0	0	0	0
2013	2818	2393	2467	4244	26365	5715	3691	3873	1316	452	0	0	0	0	0	0
2014	3123	1993	2425	4051	25692	3932	3684	3266	1532	452	0	0	0	0	0	0
2015	3276	1792	2405	3954	25355	3041	3682	2962	1639	452	0	0	0	0	0	0
2016	3352	1692	2394	3906	25187	2596	3682	2811	1693	452	0	0	0	0	0	0
2017	3390	1642	2389	3882	25103	2373	3681	2735	1720	452	0	0	0	0	0	0
2018	3409	1617	2387	3870	25061	2261	3681	2697	1734	452	0	0	0	0	0	0
2019	3418	1605	2385	3864	25040	2206	3681	2678	1740	452	0	0	0	0	0	0
2020	3423	1598	2385	3861	25030	2178	3681	2668	1744	452	0	0	0	0	0	0

**Cuadro 21. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús del Estado de México a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 1 (Sin corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	9554	13782	11387	18946	27549	11092	19976	34795	12229	1595	0	0	0	0	0	0
2003	12618	12618	13343	19569	29271	11540	18707	35427	12098	1617	0	0	0	0	0	0
2004	15367	11719	14913	20023	30730	11989	17578	35983	11966	1641	0	0	0	0	0	0
2005	17801	11086	16098	20308	31927	12440	16590	36462	11834	1666	0	0	0	0	0	0
2006	19920	10718	16897	20424	32861	12892	15742	36864	11701	1692	0	0	0	0	0	0
2007	21724	10615	17311	20371	33533	13346	15035	37190	11568	1720	0	0	0	0	0	0
2008	23213	10777	16568	20149	33942	13801	14468	37439	11434	1749	0	0	0	0	0	0
2009	24387	11205	15825	19759	34088	14257	14042	37612	11301	1779	0	0	0	0	0	0
2010	25246	11898	15081	19199	33972	14715	13757	37708	11166	1811	0	0	0	0	0	0
2011	25790	12856	14338	18470	33593	15174	13612	37727	11031	1844	0	0	0	0	0	0
2012	26019	14079	13595	17573	32952	15635	13607	37670	10896	1878	0	0	0	0	0	0
2013	25933	15568	12852	16507	32048	16097	13743	37536	10760	1914	0	0	0	0	0	0
2014	25532	17321	12109	15271	30881	16560	14019	37326	10624	1950	0	0	0	0	0	0
2015	24816	19340	11365	13867	29452	17025	14436	37039	10488	1989	0	0	0	0	0	0
2016	23785	21625	10622	12294	27760	17491	14994	36675	10350	2028	0	0	0	0	0	0
2017	22439	24174	9879	10552	25806	17959	15692	36235	10213	2069	0	0	0	0	0	0
2018	20778	26989	9136	8641	23589	18428	16531	35718	10075	2111	0	0	0	0	0	0
2019	18802	30069	8393	6561	21109	18898	17510	35125	9937	2155	0	0	0	0	0	0
2020	16511	33414	7649	4312	18367	19370	18629	34455	9798	2199	0	0	0	0	0	0

**Cuadro 22. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús del Estado de México a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	9554	13782	11387	18946	27549	11092	19976	34795	12229	1595	0	0	0	0	0	0
2003	12618	12618	13343	19569	29271	11540	18707	35427	12098	1617	0	0	0	0	0	0
2004	15367	11719	14913	20023	30730	11989	17578	35983	11966	1641	0	0	0	0	0	0
2005	16509	10644	16018	19007	27086	20289	14786	37073	13387	62	0	0	0	0	0	0
2006	20326	10783	14201	17859	28939	19112	16460	35145	13257	62	0	0	0	0	0	0
2007	16352	13250	14505	20741	30214	20460	17378	40606	14363	154	0	0	0	0	0	0
2008	9480	11973	16380	19989	31054	10192	27197	43963	15299	2030	0	0	0	0	0	0
2009	13754	14446	15085	19392	29015	11429	24467	41331	14922	2030	0	0	0	0	0	0
2010	16323	15816	15575	17576	32864	18465	27419	47539	14675	2029	0	0	0	0	0	0
2011	22282	14813	9630	15850	32989	16038	24047	48107	15516	2019	0	0	0	0	0	0
2012	10314	17263	8531	12544	25847	12120	18215	41373	16770	1929	0	0	0	0	0	0
2013	7745	18488	7982	10891	22276	10161	15299	38006	17397	1884	0	0	0	0	0	0
2014	1786	19101	7707	10065	20491	9182	13841	36323	17711	1862	0	0	0	0	0	0
2015	13754	19407	7569	9651	19598	8692	13112	35481	17867	1850	0	0	0	0	0	0
2016	16323	19560	7501	9445	19151	8447	12748	35060	17946	1845	0	0	0	0	0	0
2017	22282	19636	7466	9341	18928	8324	12565	34849	17985	1842	0	0	0	0	0	0
2018	10314	19675	7449	9290	18817	8263	12474	34744	18004	1840	0	0	0	0	0	0
2019	7745	19694	7441	9264	18761	8233	12429	34692	18014	1840	0	0	0	0	0	0
2020	1786	19703	7436	9251	18733	8217	12406	34665	18019	1839	0	0	0	0	0	0

**Cuadro 23. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Microbuses a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 1 (Sin corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	6031	15403	25341	39546	97040	20105	7076	9362	1231	209	0	0	0	0	0	0
2003	8275	16150	25861	40391	94967	19890	6627	9134	1163	209	0	0	0	0	0	0
2004	10209	16751	26278	41118	93436	19718	6260	8984	1109	210	0	0	0	0	0	0
2005	11833	17206	26591	41727	92446	19589	5974	8910	1071	210	0	0	0	0	0	0
2006	13148	17515	26802	42218	91997	19503	5769	8914	1049	209	0	0	0	0	0	0
2007	14154	17678	26909	42591	92090	19460	5646	8995	1041	209	0	0	0	0	0	0
2008	14231	17695	26913	42846	92724	19460	5604	9153	1049	208	0	0	0	0	0	0
2009	14308	17567	26814	42984	93899	19502	5644	9388	1071	208	0	0	0	0	0	0
2010	14386	17292	26612	43004	95616	19587	5766	9701	1109	207	0	0	0	0	0	0
2011	14463	16872	26307	42906	97874	19715	5969	10090	1163	205	0	0	0	0	0	0
2012	14540	16306	25898	42690	100673	19886	6253	10557	1231	204	0	0	0	0	0	0
2013	14617	15594	25386	42356	104014	20100	6619	11101	1315	202	0	0	0	0	0	0
2014	14694	14736	24771	41905	107895	20356	7066	11722	1413	201	0	0	0	0	0	0
2015	14772	13732	24053	41335	112319	20656	7595	12420	1527	199	0	0	0	0	0	0
2016	14849	12583	23232	40648	117283	20998	8205	13195	1657	196	0	0	0	0	0	0
2017	14926	11287	22308	39843	122789	21383	8897	14048	1801	194	0	0	0	0	0	0
2018	15003	9846	21281	38920	128836	21811	9670	14978	1961	191	0	0	0	0	0	0
2019	15080	8258	20150	37879	135425	22282	10525	15985	2135	189	0	0	0	0	0	0
2020	15158	6525	18916	36721	142554	22795	11461	17069	2325	186	0	0	0	0	0	0

**Cuadro 24. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Microbuses a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores).**

Año Vel. (km/hr)	Kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	6031	15403	25341	39546	97040	20105	7076	9362	1231	209	0	0	0	0	0	0
2003	8275	16150	25861	40391	94967	19890	6627	9134	1163	209	0	0	0	0	0	0
2004	10209	16751	26278	41118	93436	19718	6260	8984	1109	210	0	0	0	0	0	0
2005	9951	15231	22279	37317	89906	18968	6682	8073	1054	186	0	0	0	0	0	0
2006	12356	12747	21076	30941	81626	15394	6552	7776	1054	186	0	0	0	0	0	0
2007	8832	12704	16463	28735	82623	15624	6518	8641	1993	162	0	0	0	0	0	0
2008	4944	10281	10811	19879	81694	14221	5227	11479	2029	162	0	0	0	0	0	0
2009	8519	8767	9234	19393	72742	14193	3348	13597	2029	203	0	0	0	0	0	0
2010	10676	6923	10321	16858	71597	13861	3813	13046	2009	198	0	0	0	0	0	0
2011	9266	7299	9747	13942	69217	11603	4889	13152	2015	205	0	0	0	0	0	0
2012	11212	5907	8300	14350	69450	11358	6598	10730	2089	204	0	0	0	0	0	0
2013	12185	5211	7577	14554	69567	11236	7453	9519	2126	204	0	0	0	0	0	0
2014	12672	4863	7215	14656	69625	11174	7880	8914	2145	203	0	0	0	0	0	0
2015	12915	4689	7034	14707	69654	11144	8093	8611	2154	203	0	0	0	0	0	0
2016	13036	4602	6943	14733	69668	11128	8200	8459	2158	203	0	0	0	0	0	0
2017	13097	4559	6898	14745	69676	11121	8254	8384	2161	203	0	0	0	0	0	0
2018	13128	4537	6876	14752	69679	11117	8280	8346	2162	203	0	0	0	0	0	0
2019	13143	4526	6864	14755	69681	11115	8294	8327	2162	203	0	0	0	0	0	0
2020	13150	4520	6859	14756	69682	11114	8300	8317	2163	203	0	0	0	0	0	0

























**Cuadro 37. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús Alimentador (alimentador troncal) a diferentes velocidades promedio en la ZMVM (2002-2020) bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores).**

Año Vel. (km/hr)	kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	147	375	585	1747	579	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	151	104	542	702	3640	1169	43	336	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	8	192	344	653	4543	1514	103	334	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	51	277	487	4255	1721	158	430	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	53	280	532	4231	1732	20	569	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	159	248	97	514	4582	1880	95	277	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	5	234	168	314	3622	1820	166	277	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	12	273	198	260	3711	1837	0	277	189	0	0	0	0	0	0	0
2013	9	254	183	287	3667	1829	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2014	10	263	191	274	3689	1833	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2015	9	258	187	280	3678	1831	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2016	10	261	189	277	3683	1832	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2017	10	260	188	279	3680	1831	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2018	10	260	188	278	3682	1831	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2019	10	260	188	278	3681	1831	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0
2020	10	260	188	278	3681	1831	0	277	343	0	0	0	0	0	0	0





**Cuadro 40. Kilómetros recorridos en hora pico (7:00 – 8:00 am) por Autobús Articulado que ofrece servicio normal en corredores (Escenario 2).**

Año Vel. (km/hr)	kilómetros recorridos															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	4790	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	4887	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	4925	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	5723	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	5699	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	4862	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	4949	0	0	0	0	0	0	0	0	0

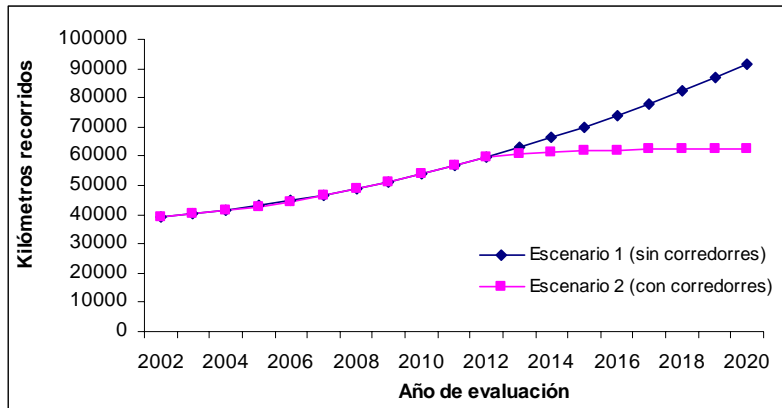
Comentario [MZZ1]: ¿qué diferencia hay entre esta categoría y la anterior? Y por qué son diferentes?

### V.1.3. Vehículos de Carga

El vehículo de carga que se refiere en este estudio es un vehículo promedio que pondera la contribución de los vehículos de carga de 2 y 3 ejes, así como de los tractocamiones. En general, esta categoría de transporte representa un porcentaje muy pequeño del kilometraje total recorrido en la ZMVM en comparación con el transporte público y privado; sin embargo, influyen fuertemente en la velocidad de estos y por ello fueron incluidos en este estudio.

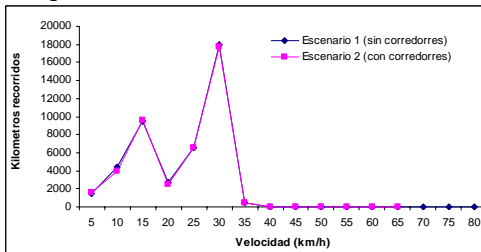
La Figura 36 muestra los kilómetros totales recorridos para esta categoría vehicular en el periodo analizado. En ella se puede apreciar que en el escenario con corredores los vehículos de carga reducen el kilometraje recorrido en hora pico, particularmente entre el 2012 y 2020. En este último año la diferencia en kilometraje recorrido entre uno y otro escenario es del orden de 30 mil kilómetros.

**Figura 36. Kilómetros recorridos por vehículos de carga en la ZMVM (2002-2020)**

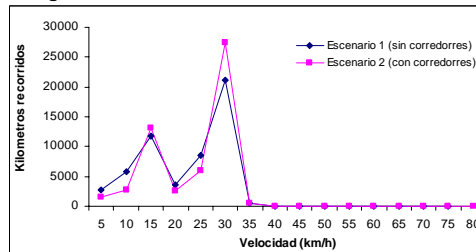


Las Figuras 37 a 40 ilustran la tendencia en el número de kilómetros totales recorridos a diferentes velocidades de circulación por esta categoría vehicular en los años 2005, 2010, 2015 y 2020 bajo las consideraciones de los dos escenarios evaluados.

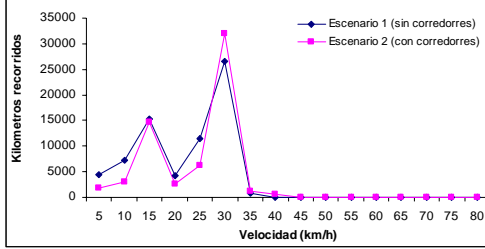
**Figura 37. Kilómetros recorridos por vehículos de carga en la ZMVM a diferentes velocidades en 2005**



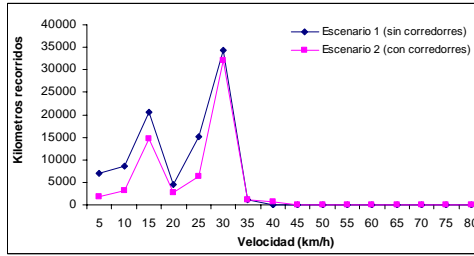
**Figura 38. Kilómetros recorridos por vehículos de carga en la ZMVM a diferentes velocidades en 2010**



**Figura 39. Kilómetros recorridos por vehículos de carga en la ZMVM a diferentes velocidades en 2015**



**Figura 40. Kilómetros recorridos por vehículos de carga en la ZMVM a diferentes velocidades en 2020**



Los kilómetros recorridos para carga a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80 km/h para el periodo de tiempo 2002 – 2020 para escenario 1 y 2 se muestran en los Cuadros 41 y 42.





## V.2 Consumo de combustible

Con TRANUS es posible estimar el consumo de combustible por tipo de vehículo, lo cual es de gran utilidad en este estudio por cuanto se refiere al cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que para este tipo de contaminantes únicamente se dispone de factores de emisión que se reportan en unidades de gramos de contaminante emitido por litro de combustible consumido, además de no estar desagregados por rangos de velocidad.

En esta sección se presentan los datos estimados sobre consumo de combustible para los vehículos a gasolina y diesel contemplados en este estudio. Es importante recordar que los datos aquí presentados también están referidos a la modelación de una hora pico (7:00 a 8:00 de la mañana).

### V.2.1. Vehículos a Gasolina

Los vehículos que utilizan gasolina son: autos particulares, combis, microbuses y minibuses (ésta última categoría vehicular es considerada únicamente para el escenario 2 y específicamente en los corredores de Insurgentes y Eje 8 Sur). Los autos particulares corresponden al modo de transporte privado, mientras combis, microbuses y minibuses pertenecen al modo de transporte público. Las Figuras 41 a 44 y Cuadros 42 y 43 muestran el consumo de gasolina estimado para cada una de estas categorías de acuerdo al kilometraje recorrido por cada uno de ellos en cada escenario.

Figura 41. Consumo de combustible estimado para autos particulares (2002 – 2020)

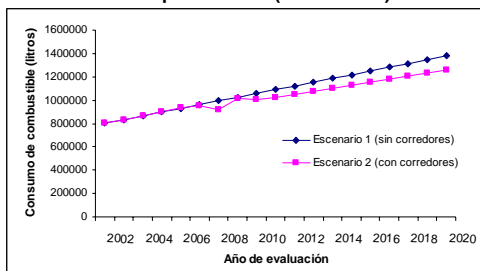


Figura 42. Consumo de combustible para combis para (2002 – 2020)

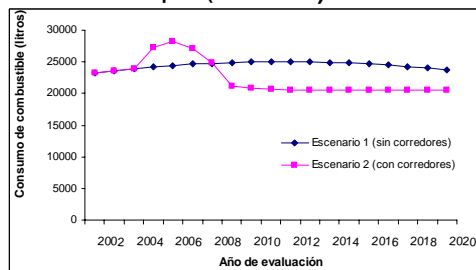


Figura 43. Consumo de combustible para microbuses (2002 – 2020)

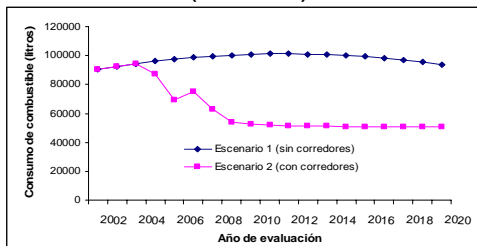
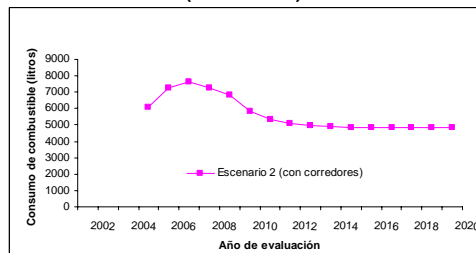


Figura 44. Consumo de combustible para minibuses (2005 – 2020)



**Cuadro 42. Consumo de gasolina en litros por tipo de vehiculo en el periodo 2002 – 2020 bajo las condiciones del Escenario 1 (Sin corredores)**

<b>Año</b>	<b>Auto particular</b>	<b>Combi</b>	<b>Colectivo- Microbús</b>
2002	800808.00	23321.00	90521.00
2003	833192.36	23655.56	92580.32
2004	865542.04	23953.44	94418.48
2005	897857.04	24214.64	96035.48
2006	930137.36	24439.16	97431.32
2007	962383.00	24627.00	98606.00
2008	994593.96	24778.16	99559.52
2009	1026770.24	24892.64	100291.88
2010	1058911.84	24970.44	100803.08
2011	1091018.76	25011.56	101093.12
2012	1123091.00	25016.00	101162.00
2013	1155128.56	24983.76	101009.72
2014	1187131.44	24914.84	100636.28
2015	1219099.64	24809.24	100041.68
2016	1251033.16	24666.96	99225.92
2017	1282932.00	24488.00	98189.00
2018	1314796.16	24272.36	96930.92
2019	1346625.64	24020.04	95451.68
2020	1378420.44	23731.04	93751.28

**Cuadro 43. Consumo de gasolina en litros por tipo de vehiculo en el periodo 2002 – 2020 bajo las condiciones del Escenario 2 (Con corredores)**

<b>Año</b>	<b>Tipo de vehiculo</b>			
	<b>Auto particular</b>	<b>Combi</b>	<b>Colectivo- Microbús</b>	<b>Minibús alimentador</b>
2002	800808.00	23321.00	90521.00	-----
2003	833192.36	23655.56	92580.32	-----
2004	865542.04	23953.44	94418.48	-----
2005	897066.00	27303.00	87279.00	6068.00
2006	932064.00	28263.00	69547.00	7285.00
2007	957146.00	27099.00	74930.00	7645.00
2008	915015.00	24849.00	62859.00	7289.00
2009	1015941.00	21236.00	53825.00	6834.00
2010	1001616.00	20875.00	52394.00	5829.00
2011	1022993.00	20694.50	51678.50	5326.50
2012	1048924.00	20604.25	51320.75	5075.25
2013	1074855.00	20559.13	51141.88	4949.63
2014	1100786.00	20536.56	51052.44	4886.81
2015	1126717.00	20525.28	51007.72	4855.41
2016	1152648.00	20519.64	50985.36	4839.70
2017	1178579.00	20516.82	50974.18	4831.85
2018	1204510.00	20515.41	50968.59	4827.93
2019	1230441.00	20514.71	50965.79	4825.96
2020	1256372.00	20514.35	50964.40	4824.98

### V.1.3.2. Vehículos a Diesel

Los vehículos que utilizan diesel son: Autobús del Distrito Federal (RTP), Autobús del Estado de México, Autobús articulado (que no pertenece al sistema de corredores), Articulado (circulando en los corredores), Autobús Alimentador y Carga.

En general, los Cuadros 44 y 45 muestran los resultados obtenidos para estas categorías de acuerdo a las condiciones de los Escenarios 1 y 2, respectivamente.

**Cuadro 44. Consumo de diesel por tipo de vehículo bajo las consideraciones del Escenario 1 (Sin corredores)**

Año	Consumo (litros)			
	Autobús del Distrito Federal	Autobús del Estado de México	Articulado	Carga
2002	105991.00	138638.00	9431.00	37758.00
2003	107979.36	146782.04	9685.36	39102.40
2004	109884.44	154040.16	9917.04	40650.00
2005	111706.24	160412.36	10126.04	42400.80
2006	113444.76	165898.64	10312.36	44354.80
2007	115100.00	170499.00	10476.00	46512.00
2008	116671.96	174213.44	10616.96	48872.40
2009	118160.64	177041.96	10735.24	51436.00
2010	119566.04	178984.56	10830.84	54202.80
2011	120888.16	180041.24	10903.76	57172.80
2012	122127.00	180212.00	10954.00	60346.00
2013	123282.56	179496.84	10981.56	63722.40
2014	124354.84	177895.76	10986.44	67302.00
2015	125343.84	175408.76	10968.64	71084.80
2016	126249.56	172035.84	10928.16	75070.80
2017	127072.00	167777.00	10865.00	79260.00
2018	127811.16	162632.24	10779.16	83652.40
2019	128467.04	156601.56	10670.64	88248.00
2020	129039.64	149684.96	10539.44	93046.80

**Cuadro 45. Consumo de diesel por tipo de vehículo bajo las consideraciones del Escenario 2 (Con corredores)**

Año	Consumo (litros)						
	Autobús del D. F.	Autobús del Edo de México	Articulado	Carga	Autobús Alimentador	Articulado Normal	Articulado Expres
2002	105991.00	138638.00	9431.00	37758.00	-----	-----	-----
2003	107979.36	146782.04	9685.36	39102.40	-----	-----	-----
2004	109884.44	154040.16	9917.04	40650.00	-----	-----	-----
2005	104935.00	160412.36	10592.00	41480.00	3086.00	4013.00	-----
2006	85847.00	165898.64	10551.00	41480.00	5101.00	8381.00	4398.00
2007	85907.00	170499.00	5503.00	44689.00	6328.00	44959.00	4458.00
2008	72106.00	174213.44	5323.00	45390.00	5827.00	65041.00	4487.00
2009	63456.00	177041.96	5376.00	45737.00	5448.00	68813.00	5173.00
2010	60525.00	178984.56	4306.00	46480.00	5799.00	70245.00	5147.00
2011	59059.50	180041.24	0.00	49667.00	5974.50	75271.00	5134.00
2012	58326.75	180212.00	0.00	50322.00	6062.25	98446.00	5127.50
2013	57960.38	179496.84	0.00	50649.50	6106.13	110033.50	5124.25
2014	57777.19	177895.76	0.00	50813.25	6128.06	115827.25	5122.63
2015	57685.59	175408.76	0.00	50895.13	6139.03	118724.13	5121.81
2016	57639.80	172035.84	0.00	50936.06	6144.52	120172.56	5121.41
2017	57616.90	167777.00	0.00	50956.53	6147.26	120896.78	5121.20
2018	57605.45	162632.24	0.00	50966.77	6148.63	121258.89	5121.10
2019	57599.72	156601.56	0.00	50971.88	6149.31	121439.95	5121.05
2020	57596.86	149684.96	0.00	50974.44	6149.66	121530.47	5121.03

Los archivos de salida correspondientes a cada una de las corridas efectuadas con TRANUS para este proyecto son incluidas en el Anexo XV (Archivos de salida de TRANUS)

## VI. CONCLUSIONES

Aún y cuando el modelo TRANUS se encuentra adecuado para la ZMVM, existe la necesidad de mantener el modelo calibrado con información actualizada sobre aforos vehiculares, encuestas origen – destino, estudios de red vial, etc, debido a que información como la red vial cambia constantemente.

No existen metodologías actualizadas ni datos que permitan realizar de manera adecuada la proyección de diferentes valores que se ingresan al modelo, como consumo de combustible por tipo de vehículo, crecimiento de población y empleo.

Los estudios referentes a uso de suelo no son actualizados y debido al cambio constante y rápido que presenta la ZMVM, se considera necesario mantener actualizado el modelo en este renglón.

Debido a la complejidad de la red vial, se cuenta con agregados en la parte norte, que considera zonas muy grandes, lo que conlleva a una subestimación en el número total de viajes estimados en estas zonas.

Es necesario complementar los estudios realizados sobre encuestas origen – destino, ya que el último estudio, cuenta con información detallada sobre los corredores de Eje 8 sur e Insurgentes, y un análisis general de rutas de transporte fuera de estos corredores.

En este proyecto no se consideró al operador taxi debido a que no se cuenta con información desagregada para este tipo de vehículo. Sin embargo, la cantidad e intensidad de uso de este tipo de vehículo es muy alta y por ello se considera indispensable su incorporación al modelo TRANUS en próximas aplicaciones.

## VII. Bibliografía

CONAPO, Proyecciones de la población nacional 1995-2050 y puede ser consultado en <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/199/PDF/99005.pdf>

COLMEX (2000). Calibración de modelos de desarrollo urbano vinculados con el proceso de planeación del transporte en el Distrito Federal y su zona conurbada". Informe Final.

ETEISA (2004), Diseño operacional, reducción de emisiones contaminantes y evaluación económica y financiera del corredor estratégico eje 8 sur.

Hueltrón (2000). Estudio de Minibuses en Corredores Urbanos que presentan paralelismo con líneas del Metro". México, D.F.

INEGI (1992) Resultados definitivos del XI Censo General de Población y Vivienda, 1990 (CODICE 90), Aguascalientes.

INEGI (1993) Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE). Resultados definitivos. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, Aguascalientes.

INEGI (1996a) Consulta de Información Económica Nacional (CIEN). Censos económicos 1994, Aguascalientes (Únicamente localidades con 50 mil o más habitantes).

INEGI (1996b) Distrito Federal. Censo de Población y Vivienda. Resultados definitivos (SCINCE 95), Aguascalientes.

INEGI (1996c) Estado de México. Censo de Población y Vivienda. Resultados definitivos (SCINCE 95), Aguascalientes.

INEGI. XI Censo de Población y Vivienda, 1990. Información por delegación y municipio (<http://www.inegi.gob.mx>)

INEGI. Censo de Población y Vivienda, 1995. Información por delegación y municipio (<http://www.inegi.gob.mx>)

INEGI. XII Censo de Población y Vivienda, 2000. Información por delegación y municipio para 2000. (<http://www.inegi.gob.mx>)

Infocom (1999). Incorporación de la Red de Transporte a la red Vial para Modelación de Transporte Público del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

Infocom (2000). Estudio modelación de proyectos de impacto y/o transporte utilizando el paquete EMME/2.

Maldonado, I. JL. (1992). Curso sobre tráfico urbano: Modelos de transporte. <http://www.temage.com/files/modtran.doc>

SCT (2002). Estado superficial y costos de operación en carreteras el cual puede ser consultado en la dirección: <http://www.imt.mx/espanol/publicaciones/pubtec/pt262.pdf>

SCT-IMT Secretaría de Comunicaciones y Transporte – Instituto Mexicano del Transporte (2004). Efecto de la regularidad superficial en la capacidad vial de

autopistas y carreteras multicarril mexicanas. Publicación técnica No. 262. Sanfandila, Querétaro, México. Disponible en:

<http://www.imt.mx/espanol/publicaciones/pubtec/pt262.pdf>

SETRAVI (1999). Definición de la red básica de transporte a través de 33 corredores estratégicos.

SETRAVI (2002). Planeación estratégica de transporte con utilización del programa EMME/2. Reporte final. Preparado para Gobierno del Distrito Federal; Secretaría de Transporte y Vialidad por el Centro de Instrumentos de la UNAM.

SETRAVI (2004). Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del Área Metropolitana de la Ciudad de México, 2003. Reporte final. Preparado para Gobierno del Distrito Federal; Secretaría de Transporte y Vialidad por ETEISA.

SETRAVI (2004b). Manual de Usuario. Sistema DB Vial. Manual de usuario preparado para Gobierno del Distrito Federal; Secretaría de Transporte y Vialidad por ETEISA.

Torres Consultores (1997). Actualización de Red de Transporte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México".