

**Evaluación de las metodologías aplicadas a la
modelación de los datos de actividad en el transporte
por la instrumentación de medidas para la mejoría del
transporte público**

REPORTE FINAL

Preparado por la Dra. Julia A. Gamas Buentello, Consultora
para el Instituto Nacional de Ecología (INE)

Boston, Massachusetts, Estados Unidos de América
Diciembre del 2005

INDICE

1	RESUMEN.....	6
2	INTRODUCCION	10
3	ANTECEDENTES: EL MODELO TRANUS.....	12
3.1	Actividades	13
3.2	Interacción entre transporte y actividades	15
3.3	La modelación de transporte en TRANUS.....	16
3.4	Evaluación de costos y beneficios en TRANUS	20
4	EVALUACION DE METODOLOGIA	21
4.1	TRANUS como herramienta para modelar la ZMVM.....	21
4.2	Los corredores de transporte	23
4.2.1	Período de crecimiento y calendario de implementación	23
4.2.2	Rutas, frecuencias, paradas y tarifa.....	24
4.3	Supuestos sobre actividades y uso de suelo	26
4.3.1	Zonificación	26
4.3.2	Modelación de las actividades	29
4.3.3	Coefficientes Insumo-Producto.....	40
4.4	Supuestos sobre transporte	41
4.4.1	Reparto modal	41
4.4.2	Red vial	45
4.4.3	Administradores, operadores y rutas	48
4.4.4	Tarifas	49
4.4.5	Variables de pasos	50
4.4.6	Costos operativos y de energía	51
4.4.7	Flujos de transporte de carga	55
4.5	Escenario nuevo para TRANUS - MEXICO.....	61
4.5.1	Recalibración del 2003 para correr el escenario nuevo	61
4.5.2	Definición del caso base o escenario sin corredores.....	65
4.5.3	Definición del escenario nuevo con corredores	65
5	RESULTADOS	67
5.1	Consumo energético.....	67
5.2	Reparto modal	74
5.2.1	Kilometraje recorrido y rangos de velocidad.....	76
6	CONCLUSIONES.....	96
7	APENDICE 1: ECUACIONES INSUMO-PRODUCTO UTILIZADAS PARA TRANUS-MEXICO	98
8	APENDICE 2: ECUACIONES PARA CALCULO DE COSTOS OPERATIVOS.....	101
9	REFERENCIAS	102

FIGURAS

FIGURA 1. Componentes principales del sistema usos del suelo-transporte	12
FIGURA 2. Estructura del modelo de localización de actividades.....	14
FIGURA 3. Interacción entre transporte y actividades.....	16
FIGURA 4. Estructura del modelo de transporte	17
FIGURA 5. Desutilidades y probabilidades de decisión	18
FIGURA 6. Consumo total de combustible (litros por hora pico, por año)	71
FIGURA 7. Tendencia del reparto modal en ambos escenarios (viajes-persona totales)	75
FIGURA 8. Kilometraje total recorrido en una hora pico para cada año.....	77
FIGURA 9. Kilómetros recorridos en una hora pico por autos por rango de velocidad en años seleccionados.....	78
FIGURA 10. Kilómetros recorridos en una hora pico por transporte público por rango de velocidad en años seleccionados.....	78
FIGURA 11. Kilómetros recorridos en una hora pico por transporte de carga por rango de velocidad en años seleccionados.....	79

TABLAS

TABLA 1. Supuestos de implementación de corredores.....	23
TABLA 2. Crecimiento Poblacional de la ZMVM por sub-regiones	34
TABLA 3. Promedio ponderado de crecimiento poblacional	35
TABLA 4. Población y empleo supuestos para TRANUS originalmente	36
TABLA 5. Crecimiento Poblacional de la ZMVM por sub-regiones	37
TABLA 6. Reparto de actividades económicas en la ZMVM	38
TABLA 7. Corrección de coeficientes insumo-producto	41
TABLA 8. Comparación de repartos modales	42
TABLA 9. Impacto de la constante modal sobre el porcentaje de viajes realizados por modo de transporte.....	46
TABLA 10. Cambios en variables de pasos	50
TABLA 11. Nuevos costos operativos (pesos por vehículo-kilómetro)	55
TABLA 12. Nuevos flujos de transporte de carga.....	59
TABLA 13. Valores de constantes modales y elasticidades de demanda de viajes para la re-calibración del modelo	63
TABLA 14. Consumo total de combustible (litros por hora pico, por año).....	71
TABLA 15. Uso de combustible por operador (litros por hora pico, por año) en el escenario con corredores	72
TABLA 16. Uso de combustible por operador (litros por hora pico, por año) en el caso base sin corredores.....	73
TABLA 17. Reparto modal para ambos escenarios (viajes-persona totales y porcentajes del total por modo de transporte).....	74
TABLA 18. Kilómetros totales recorridos en una hora pico para cada año.....	77
TABLA 19. Kilómetros recorridos en hora pico por autos particulares, por rango de velocidad y año	81
TABLA 20. Kilómetros recorridos en hora pico por combis, por rango de velocidad y año.....	82
TABLA 21. Kilómetros recorridos en hora pico por colectivos (microbuses), por rango de velocidad y año.....	83
TABLA 22. Kilómetros recorridos en hora pico por alimentadores troncales de minibuses, por rango de velocidad y año.....	84
TABLA 23. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses Distrito Federal, por rango de velocidad y año.....	85
TABLA 24. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses Estado de México, por rango de velocidad y año.....	86
TABLA 25. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses articulados, por rango de velocidad y año.....	87
TABLA 26. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses alimentadores, por rango de velocidad y año.....	88

TABLA 27. Kilómetros recorridos en hora pico por metrobús normal, por rango de velocidad y año	89
TABLA 28. Kilómetros recorridos en hora pico por metrobús expreso, por rango de velocidad y año	90
TABLA 29. Kilómetros recorridos en hora pico por transporte de carga, por rango de velocidad y año	91
TABLA 30. Kilómetros recorridos en hora pico por metro, por rango de velocidad y año.....	92
TABLA 31. Kilómetros recorridos en hora pico por metro férreo, por rango de velocidad y año.....	93
TABLA 32. Kilómetros recorridos en hora pico por tren ligero, por rango de velocidad y año.....	94
TABLA 33. Kilómetros recorridos en hora pico por trolebús, por rango de velocidad y año.....	95

1 RESUMEN

En este reporte se presentan los resultados de la evaluación de la metodología empleada para la modelación de corredores de transporte público en la Zona Metropolitana del Valle de México. Esta evaluación se hizo con el fin de determinar si los resultados del modelo pueden ser utilizados para estimar emisiones con certidumbre en la calidad de los resultados. Se evaluaron los supuestos utilizados en un modelo de transporte y uso de suelo (TRANUS) que se aplicó a la ZMVM, reportados en el estudio “Reporte sobre Datos de Actividad y Consumo de Combustible por Categoría Vehicular en la ZMVM, (2002-2020)” del Instituto Nacional de Ecología (2005). Posteriormente se hicieron las correcciones que fue posible hacer dentro del alcance de este estudio, creando un nuevo escenario. Este escenario se corrió en TRANUS y aquí se presentan los resultados del mismo. En general se encontró que el modelo aún requiere de revisiones adicionales para poder utilizarse en la generación de otros escenarios con el fin de llevar a cabo análisis de sensibilidad. Sin embargo, los logros de este estudio representan un buen avance hacia esta finalidad. El escenario nuevo creado aquí puede utilizarse para modelar emisiones, aunque esto debe hacerse tomando en consideración todos los supuestos que lo apoyan y la incertidumbre existente en cuanto a los mismos.

En primer lugar se evaluó TRANUS como herramienta de análisis. Se encontró que la aplicación de TRANUS para el caso de la Ciudad de México, requiere de grandes cantidades de información. Esto ocasiona lentitud de respuesta del software. También se requiere de mucho apoyo técnico por la cantidad de casos particulares en las opciones que se utilizan y que no se documentan en los manuales. TRANUS, a diferencia de otros softwares de modelación de tráfico no muestra gráficos de mapas, complicando la navegación dentro de la red con el fin de ubicar calles específicas. Además, los programas que generan las tablas de resultados tienen que correrse desde fuera de TRANUS en ventanillas de DOS. TRANUS tiene la ventaja de ser dinámico en el proceso de modelación. En general, TRANUS parece ser un software óptimo para ciudades pequeñas y medianas, pero aún no del todo para ciudades tan grandes como la ZMVM.

A continuación, se evaluaron los supuestos sobre implementación y operación de corredores de transporte público. Se encontró que el año inicial del estudio 2002 no sería directamente comparable con los datos de conteos de línea de SETRAVI del 2003. Se encontró que el calendario de implementación actual podría resultar demasiado ambicioso. Esto es así porque la implementación de los corredores no sólo depende de la velocidad de construcción, sino también de que se pueda llegar a acuerdos con las personas afectadas (como lo serían microbuseros). Sin embargo, ese calendario hace sentido debido a la falta de capacidad computacional para modelar años adicionales, y porque mantener el supuesto de que ciertos valores no cambian en el tiempo se vuelve más difícil de

justificar a medida que el período de análisis se extiende. Adicionalmente, existía la duda de si se habían ingresado las paradas sobre el corredor Insurgentes de manera adecuada y se encontró que estas se ingresaron correctamente. Sin embargo, los corredores que se supone se añaden a la red vial cada año no se ingresaron de manera adecuada, ni se documentó su trayectoria con detalle. También se dieron rangos de frecuencia demasiado elevados para algunos de los corredores. La tarifa de \$3.50 parece razonable.

Se evaluaron también los supuestos utilizados en la versión original del modelo que se aplicó a la ZMVM y la calidad de la información que se utilizó como insumo al mismo. El modelo empleado, TRANUS, se divide en dos grandes partes: uso de suelo y transporte. Entre los problemas principales en modelación del uso de suelo, la documentación sobre zonificación fue incompleta y no se aprovechó la capacidad del modelo para relacionar el transporte con el uso del suelo (posiblemente por falta de información respecto al mercado de bienes raíces). También se encontró que los parámetros que fueron utilizados como insumos a los modelos de demanda (elasticidades de demanda de viajes) se documentaron de manera incompleta (sin citar su fuente o justificar su uso) aunque en su mayoría eran razonables. Las proyecciones de crecimiento poblacional y económico requerían de actualización. Relacionado a esto el supuesto sobre crecimiento en transporte de carga estaba desconectado del supuesto sobre crecimiento poblacional y económico en la parte de uso de suelo. Esto podría llevar a inconsistencias entre lo que se demanda de transporte y lo que se ofrece del mismo. En breve, no se dio mucho enfoque, en la documentación, al desarrollo de la parte económica de TRANUS. En vez, el enfoque se dio más bien al aspecto de ingeniería de transporte del modelo.

Con respecto a transporte, muchos de los supuestos que se utilizaron fueron razonables. Los problemas principales que se encontraron en esta parte del esfuerzo de modelación fueron los siguientes. La constante modal utilizada no reflejó de manera adecuada las preferencias de las personas por el transporte privado y el transporte público. Faltó información sobre costos operativos. Los datos sobre consumo de combustible y los supuestos sobre las pendientes y elasticidades de utilización de combustible no se documentaron. Los rangos de frecuencia que se dieron a la oferta de transporte público (más de 500 rutas) fueron demasiado restrictivos impidiéndose mayor flexibilidad en su ajuste.

Adicionalmente, se excluyó parte de la red secundaria por falta de recursos en la utilización de licencias en software EMME/2 (que fue el que se utilizó para generar la red original). Los taxis no se modelaron de forma explícita por lo que podrían estarse subestimando los viajes de vehículos en vacío. Tampoco se mencionó si se contabilizó el transporte público irregular. No se detalló el motivo por el cual se desaprovechó el mecanismo en TRANUS que modela los viajes de carga internamente. En vez estos fueron modelados de manera exógena.

Es importante recordar que ningún modelo es perfecto. La información que se requiere no siempre está disponible. A falta de dicha información, se requiere de hacer supuestos basados en la experiencia a falta de observaciones. La falta de documentación de muchos de estos supuestos, como se mencionó arriba, implica que en el futuro sería recomendable seguir con la labor de documentación o actualización de los mismos, según sea el caso. También se recomienda realizar análisis de sensibilidad, variando los valores de ciertas variables de interés (como por ejemplo, cambiar el supuesto de localización de actividades, o variar los valores de las diferentes elasticidades de demanda de viajes y energía) para determinar el impacto que estos datos tienen sobre los resultados.

El resultado de utilizar estos supuestos en la versión original de TRANUS – México fue subestimar el número de viajes y el reparto modal. Todos estos factores contribuyeron a subestimar el congestionamiento vial. La calibración del modelo original logró explicar sólo el 80% de los vehículos observados en el año inicial de modelación. Esto significa que el 20% de los vehículos observados no fueron contados y no se modeló su contribución a la congestión en la red vial. De los resultados de la calibración también se observó que la cantidad de autos particulares en la red se subestimó mientras que la cantidad de vehículos de transporte se sobre estimó. También se observó que la proyección de los resultados del modelo que se hizo para el período de tiempo entre el 2012 y el 2020 no tuvo una base sólida.

De todos los cambios y revisiones recomendadas, para efectos de este estudio se hicieron las correcciones que se juzgaron tendrían el impacto más significativo sobre los resultados y que podían realizarse dentro de los límites del estudio. Se lograron hacer las siguientes correcciones. Se ingresó la información de corredores que se encontraba en la red vial en las casillas correspondientes para efectuar el análisis, documentando su trayectoria. Se expandió el rango de frecuencias de los mismos. Se redefinió el año de inicio del estudio a comenzar en 2003 por el paralelo con el año de generación de datos relevantes para calibración del modelo en el año inicial. La población, su crecimiento y su distribución en actividades económicas se actualizaron, incrementando el número total de viajes y explicando el 20% de viajes que faltaban. Al hacer esto se alteraron los coeficientes insumo producto mismos que también se actualizaron. Este incremento equivalió a incluir aquellos viajes que no se estaban modelando porque el total de provisión de servicios de la economía se estaba subestimando. La matriz exógena de transporte de carga y su tasa de crecimiento se hicieron acordes con el crecimiento poblacional. Las constantes modales para transporte público se revisaron para obtener valores más acordes con la realidad (tomando como base los conteos vehiculares de SETRAVI 2003). Se revisó el número de paradas sobre el corredor Insurgentes y se verificó que estas fueron colocadas de forma correcta en la versión original. También se revisaron los costos operativos que estaban subestimados (en el caso del transporte de carga y vehículos eléctricos). Finalmente se re-calibró el

modelo haciendo un pequeño ajuste a las elasticidades de demanda de viajes para obtener resultados en el año 2003 que reflejaran los conteos vehiculares del mismo año (SETRAVI 2003).

Además, en el nuevo escenario modelado para este estudio se supuso que población, actividad económica y crecimiento de transporte de carga todos ocurrieron a una tasa de 1.2% anual. Se supuso que las demás variables se mantuvieron fijas en el período. Los costos operativos se supusieron también invariables (bajo un supuesto de que el valor real de los mismos no cambia en el tiempo). El calendario de implementación de cinco corredores por año se mantuvo. También se supuso que los valores iniciales se mantenían fijos en el tiempo. A los corredores de Metrobús se les dio un rango de frecuencia más amplio de entre 5 y 260 vehículos por hora. El período de modelación fue, como en el modelo inicial, de una hora pico en día hábil. Los años modelados dentro de TRANUS fueron del 2003 al 2012 (proyectando los años intermedios que no fueron modelados explícitamente en TRANUS). Se mantuvo el supuesto de que la población tiende a ubicarse en el Estado de México, mientras el Distrito Federal pierde densidad.

Para perfeccionar el modelo, en el largo plazo, en cuanto a transporte, resta revisar los detalles de la red vial (frecuencias de las rutas). También deben incorporarse vías de la red secundaria que se hayan excluido. Es indispensable revisar la zonificación y contrastarla con mapas de la ciudad divididos en agebs, zats y zetas para esclarecer la definición que se utilizó y que no se documentó en la versión original de TRANUS - México. Cuando haya información disponible sobre mercados de bienes raíces por zona, sería también recomendable aprovechar el modelo de localización de actividades dentro de TRANUS para observar el impacto de Metrobús sobre la densidad de población del Distrito Federal. Metrobús puede hacer que este proceso se retrase o revierta al atraer actividades hacia sus corredores, incrementando la densidad de población del Distrito Federal. También, en la medida de lo posible, se debe incorporar de manera explícita el tráfico de taxis y transporte irregular (con algún supuesto sobre su porcentaje de viajes respecto al transporte regular, por ejemplo). Los análisis de sensibilidad se recomiendan para modelar múltiples escenarios y determinar el impacto de cambios en las variables que no se documentaron.

Con los cambios y mejoras sugeridas así como también con actualizaciones a la información existente conforme nueva información se encuentre disponible, el modelo TRANUS tiene posibilidades de ofrecer muchos beneficios en la modelación de tráfico y calidad del aire. Esta sería una herramienta de planeación indispensable para la ZMVM.

2 INTRODUCCION

Debido a los problemas de calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), el Instituto Nacional de Ecología ha tenido como propósito el obtener una herramienta con la que se pueda modelar el tráfico y la contaminación ambiental que este ocasiona. Esto, con el fin de entender el impacto de políticas tales como la introducción de corredores de transporte público a la Ciudad de México.

Por esta razón se empleó un modelo denominado TRANUS desarrollado por el Dr. Tomás de la Barra (1989) a través de un software desarrollado por Modelística. La adecuación de dicho modelo para la Ciudad de México (TRANUS – México) se logró gracias al esfuerzo de varias agencias gubernamentales, académicas y de consultoría (Infocom 1999 y 2000, COLMEX 2002, SETRAVI 2002, ETEISA 2004, INE 2005). Esta versión original de TRANUS - México fue utilizada para modelar el impacto sobre el consumo de energía de la implementación de 33 corredores de transporte Metrobús. Esto se hizo comparando una hora pico de tráfico entre el escenario con corredores y el caso base para cada año de interés (o sub-escenario). En el escenario se implementaron los 33 corredores de transporte público entre los años 2005 y 2012. En el caso base no se implementaron los corredores. Se utilizó una proyección para modelar lo que sucede en el año 2004 en el escenario con corredores, y entre los años 2002 a 2007 y 2007 a 2012 en el caso base, ya que estos años intermedios no se modelaron explícitamente en TRANUS. Similarmente el período 2012 a 2020 no se modeló en TRANUS por lo que se utilizó también una especie de proyección a futuro.

En este reporte se presentan los hallazgos que se obtuvieron de evaluar la metodología que se utilizó para desarrollar e implementar TRANUS - México. Esta evaluación se hizo con el fin de determinar si los resultados del modelo pueden ser utilizados para estimar emisiones con certidumbre en la calidad de los resultados. De acuerdo con los términos de referencia del INE (“Evaluación de las metodologías aplicadas a la modelación de los datos de actividad en el transporte por la instrumentación de medidas para la mejoría del transporte público”) este reporte parcial incluye:

- a. Evaluación general de la metodología empleada y sobre la utilidad y confianza de los resultados generados con ella, es decir, fortalezas y debilidades de dicha metodología.
- b. Sugerencias para mejorar la metodología empleada o metodología alternativa para estimar datos de actividad y consumos de combustible.

c. Aplicación de correcciones a la metodología para mejorar la calidad de los datos de actividad y consumos de combustible –para volver a estimar datos dados aquellos problemas detectados en el inciso (a).

Las actividades primordiales a desarrollar para la evaluación fueron:

1. Emitir una primera opinión técnica sobre la utilidad de la información generada por la consultora que aplicó TRANUS para evaluar el impacto de la introducción de los 33 corredores, para determinar su utilidad como insumo en un primer ejercicio de estimación de emisiones.
2. Evaluar la viabilidad de los supuestos manejados en torno al calendario de entrada de los corredores que se usó durante la modelación con TRANUS y en general de todos los supuestos documentados en el informe.
3. Documentar mejor, en la medida de lo posible, el trabajo desarrollado por ETEISA para adaptar TRANUS a la ZMVM, a partir de la información que le fue proporcionada (p.e. zonificación, proyección de crecimiento de población y empleo, etc. Y que está incluida en los anexos)
4. Hacer las correcciones oportunas a los datos de entrada empleadas en la corrida con TRANUS para los dos escenarios evaluados y posteriormente transferir el modelo y los resultados obtenidos.

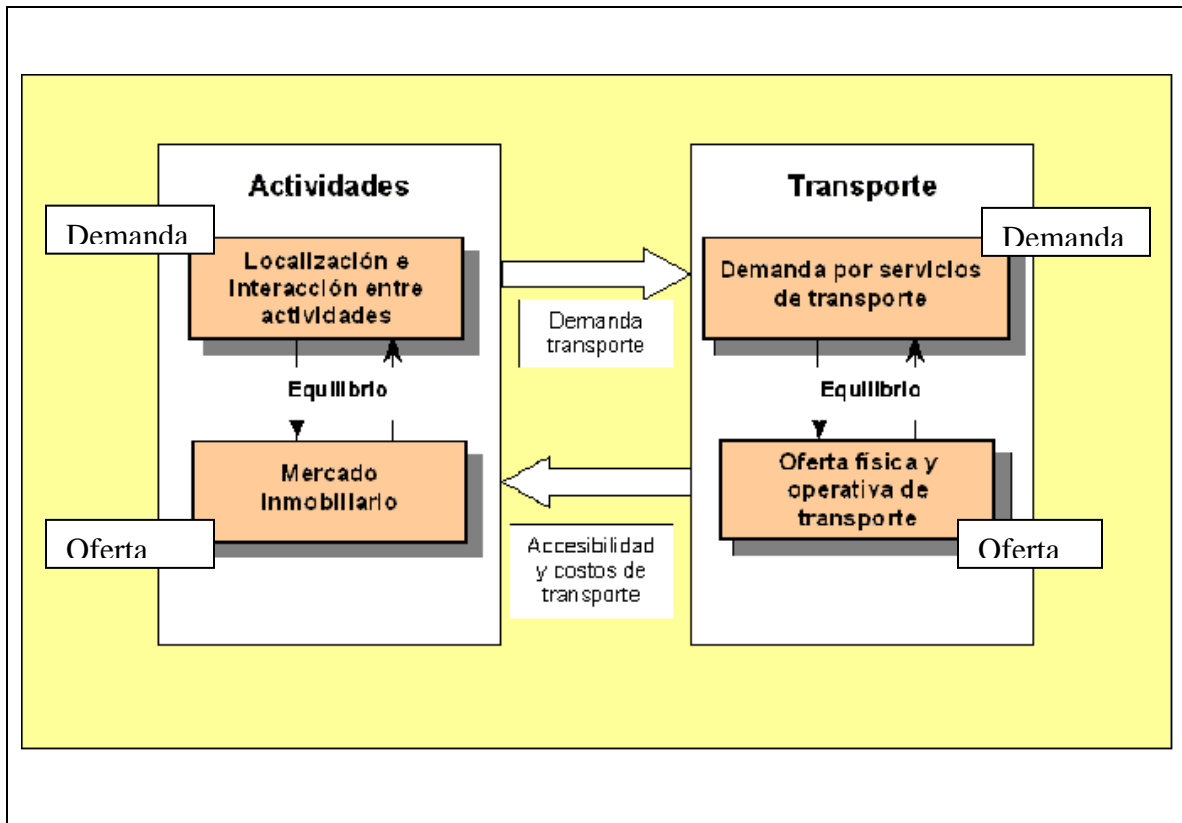
Con respecto a los incisos c) y 4, se encontró durante la evaluación que algunas correcciones y revisiones rebasarían los límites de este estudio por lo que en este reporte se detallan las actividades a realizar para poderlas llevar a cabo.

Para fines de claridad en el reporte, este hará referencia al material de los anexos se encuentran en 4 discos compactos (Anexos I a XV) y que acompañan al estudio del INE (2005). También se hará referencia a material adicional que se encuentra en los Anexos A, B, C, D y E que acompañan a este estudio.

3 ANTECEDENTES: EL MODELO TRANUS

Como se muestra en la figura 1, el modelo TRANUS es una herramienta capaz de relacionar los flujos de transporte con el uso del suelo. Aunque los detalles se pueden encontrar en los manuales de TRANUS publicados en la página de red de Modelística (www.modelistica.com) y en el anexo A, aquí se presenta una síntesis. El transporte y las actividades se consideran los dos componentes principales de un sistema interactivo en el que las actividades humanas generan viajes desde su origen hasta su destino, y la facilidad o dificultad de hacer viajes determinan la localización de las actividades humanas y el uso que dan al suelo donde se localizan.

FIGURA 1. Componentes principales del sistema usos del suelo-transporte



Fuente: www.modelistica.com

3.1 ACTIVIDADES

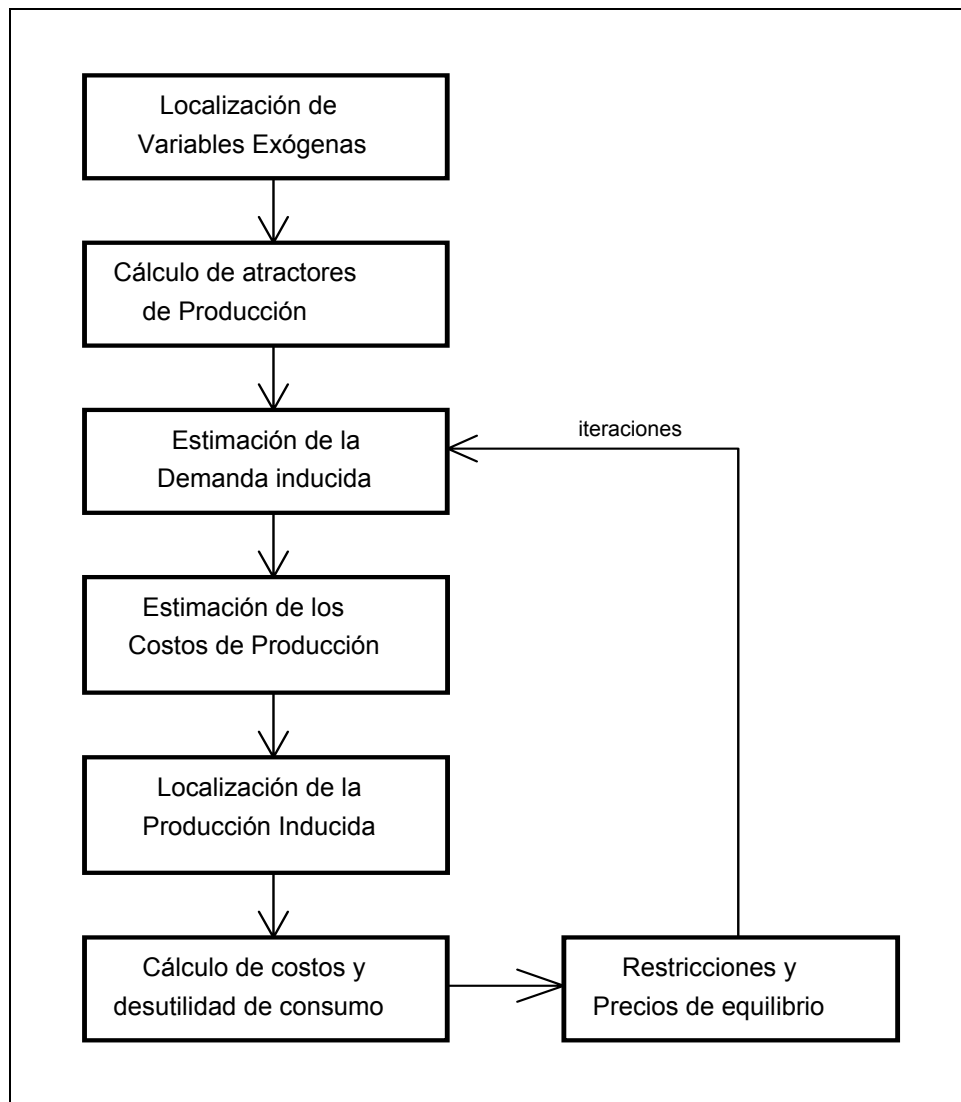
Con respecto a las actividades, TRANUS requiere de información para varios sub-modelos. Y en algunos casos la información se requiere para las zonas en las que se ha dividido la región de estudio. El proceso que sigue TRANUS para modelación de actividades se puede ver de manera gráfica en la figura 2.

Lo primero que se requiere es información sobre la producción total de la región y esto se hace al sumar la demanda total del periodo anterior con el incremento exógeno en la demanda del período actual (excepto al principio del ejercicio en que sólo se tiene la demanda exógena inicial). Hay dos maneras de hacer esto. Una es suponer un incremento exógeno particular para cada zona y especificarle a TRANUS unas variables “atractores” para cada zona. La otra opción es aplicar un incremento “global” para la región y dejar que TRANUS haga la asignación a cada zona calculando los atractores internamente. Para definir los atractores se requiere de una función que puede ser lineal, potencial o de elección discreta (logit) que depende de precios, cantidades producidas en cada zona, capacidad de producción y cualquier otro factor que el usuario considere importante, así como también parámetros o pesos que regulan la importancia relativa de cada elemento.

Lo que sigue es calcular la demanda inducida. Esto se requiere porque al demandarse bienes de consumo final, las industrias productoras requieren de trabajo y materias primas de otras industrias. Por consiguiente, cada industria genera lo que requiere para producir el bien final que se le demanda (demanda exógena), más aparte lo que genera de su bien que sirve de insumo para que otras industrias produzcan sus propios bienes finales (demanda inducida). Lo que se calcula en este paso es la cantidad de insumo n demandado por el sector m en la zona i . Esto puede hacerse por medio de coeficientes insumo producto o por vía de una función de demanda más sofisticada donde incluso se puede tomar en cuenta la presencia de insumos sustitutos. En la función de demanda se especifica, el máximo y el mínimo que se requiere del bien i para producir el bien j , así como también un parámetro de elasticidad (que indica cuánto cambia la demanda si cambian los precios).

Cuando ya se tiene el total de demanda (exógena más inducida) se calculan los costos de producirla. Para ello se suman los costos de los insumos utilizados más el valor agregado.

FIGURA 2. Estructura del modelo de localización de actividades



Fuente: www.modelistica.com, Formulación Matemática de TRANUS.

El siguiente paso es que distribuir la producción a sus zonas de consumo. Es decir se obtiene el flujo de bienes entre pares de zonas i, j (consumo, producción). Si se trata de la producción de un bien no-transportable, entonces la producción y el consumo se realizan en la misma zona (de la zona i hasta la zona j , donde $i=j$). Nótese que el consumidor puede ser un consumidor o un productor que consume un insumo. Si el bien es transportable, entonces se utiliza una función de elección discreta para estimar la probabilidad de que la producción del sector n demandado en i se localice en cada zona j . Para hacer

este cálculo, la función de distribución requiere de algunos parámetros. Por ejemplo, elasticidad o parámetro de distribución que multiplica a la función de utilidad del modelo logit, escala de precio, factor de atracción y escala logit. Estos parámetros relacionan o determinan cómo impactan los costos y la desutilidad a la probabilidad de escoger una zona de localización n .

Cuando se han localizado las actividades, se puede re-calcular el costo de producción, que ahora no sólo incluye el costo de insumos y el valor agregado, sino también el costo de transporte.

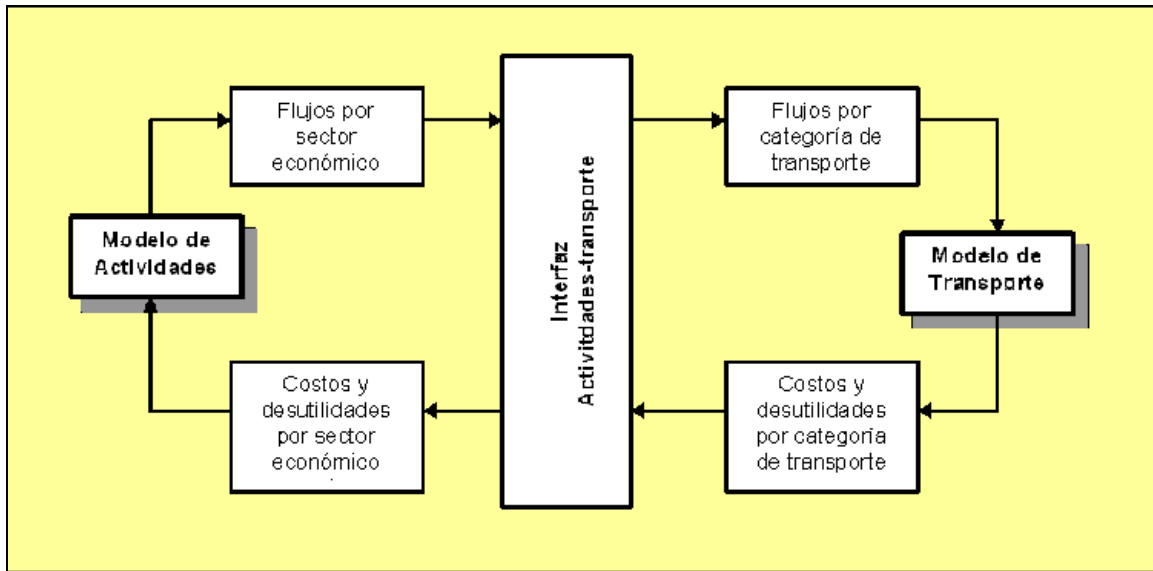
Si es que la producción total asignada a cada zona excede la capacidad máxima (oferta) de la zona, el precio del bien sube. Si la producción total es menor que la capacidad mínima de la zona, el precio baja. Este ajuste en precios afecta la demanda. La nueva demanda se calcula y se vuelve a calcular la demanda inducida. El resto del proceso se repite en varias iteraciones. El proceso iterativo continúa hasta que los cambios en precios y la probabilidad de comprar en cada zona no cambien significativamente de una iteración a la que sigue.

3.2 INTERACCIÓN ENTRE TRANSPORTE Y ACTIVIDADES

La siguiente figura (figura 3) muestra la interacción entre el transporte y las actividades. Lo que se tiene al final de la modelación de actividades son matrices de flujos origen-destino: el total de flujos entre cada par de zonas en la región. Cada sector de la economía ocupa un modo de transporte (público, privado, carga). Se requiere información para modelar esta interacción.

Primero, se requiere como insumo en esta parte del modelo, lo que cada viaje ocupa en cuanto a transporte (carga pesada, viajes en auto). Además, si las unidades de flujo de la matriz origen destino están en unidades de dinero (pesos), se tiene que hacer una equivalencia con la cantidad de mercancía que dichas unidades implican por lo que se requiere esta información. Si los valores de actividad económica están en unidades de tiempo (mensuales o anuales), se requiere tomar una unidad de tiempo consistente con el tiempo de modelación de transporte (hora pico, hora no pico). Otro insumo que se requiere en esta parte de TRANUS es la dirección de los flujos (de la zona de producción a la zona de consumo, por ejemplo, para llevar los bienes a los consumidores, o bien, movimiento de consumidores a comprar a las zonas de producción). Finalmente, se requiere información sobre viajes exógenos, como lo son por ejemplo, los viajes que pasan por la región pero no paran. En el caso de la ZMVM serían, por ejemplo, viajes que van de Toluca a Cuernavaca.

FIGURA 3. Interacción entre transporte y actividades



Fuente: www.modelística.com

El modelo de transporte toma los flujos de transporte, los modela y obtiene el costo de movilización de los mismos. Esto determina la accesibilidad que tienen las personas en sus actividades. Se requiere entonces convertir los viajes de nuevo a sus equivalentes en actividades. Por ejemplo, el costo de producción de bienes se incrementa conforme al costo de transporte. El costo de transporte esta dado por hora en el modelo de transporte, lo que implica un costo determinado al mes que hay que calcular.

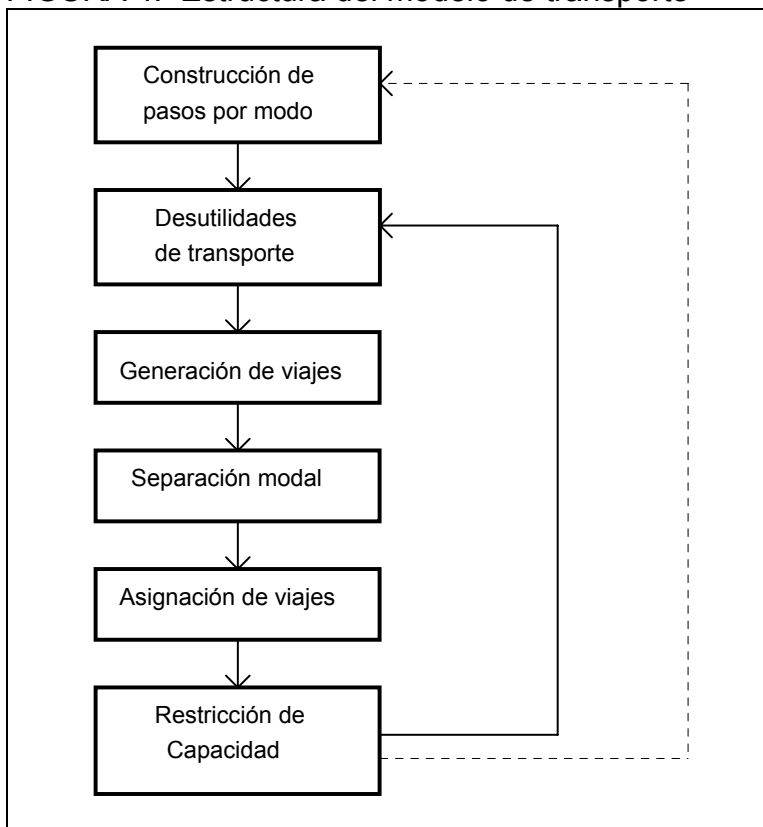
3.3 LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE EN TRANUS

La demanda inicial de transporte se encuentra en la matriz origen destino, producto de la modelación de actividades descrita arriba. La oferta es de dos tipos, física y operacional. La oferta física es la infraestructura vial y es necesario tener información como insumo a TRANUS, tal como: el número y tipo de calles o vías, su capacidad (número de carriles) y distancia, si existen restricciones a su uso, prohibiciones a dar vueltas, condiciones de señalización y si corren en ellas rutas de transporte público. La oferta operacional se refiere a quien provee el servicio: los conductores de autos privados, los concesionarios de transporte público. Como insumo a TRANUS sobre la oferta operacional, se requiere información sobre tarifas de abordaje, costos de operación (entre los

cuales se encuentra costos por utilización de combustible), velocidad y frecuencia de operación (bajo condiciones de tráfico no congestionado), número y localización de paradas, capacidad (número de pasajeros que pueden llevar), costos de estacionamiento y, para el caso de carga y transporte público, el número de vehículos equivalentes (a cuántos autos particulares equivale cada autobús o camión de carga). Se requiere aquí también conocer la elasticidad de la demanda de viajes, dados los costos.

Al igual que en el caso de actividades, para transporte hay una serie de pasos que TRANUS sigue para asignar las matrices origen destino a la red vial. Estos pasos pueden verse en la figura 4, a continuación.

FIGURA 4. Estructura del modelo de transporte



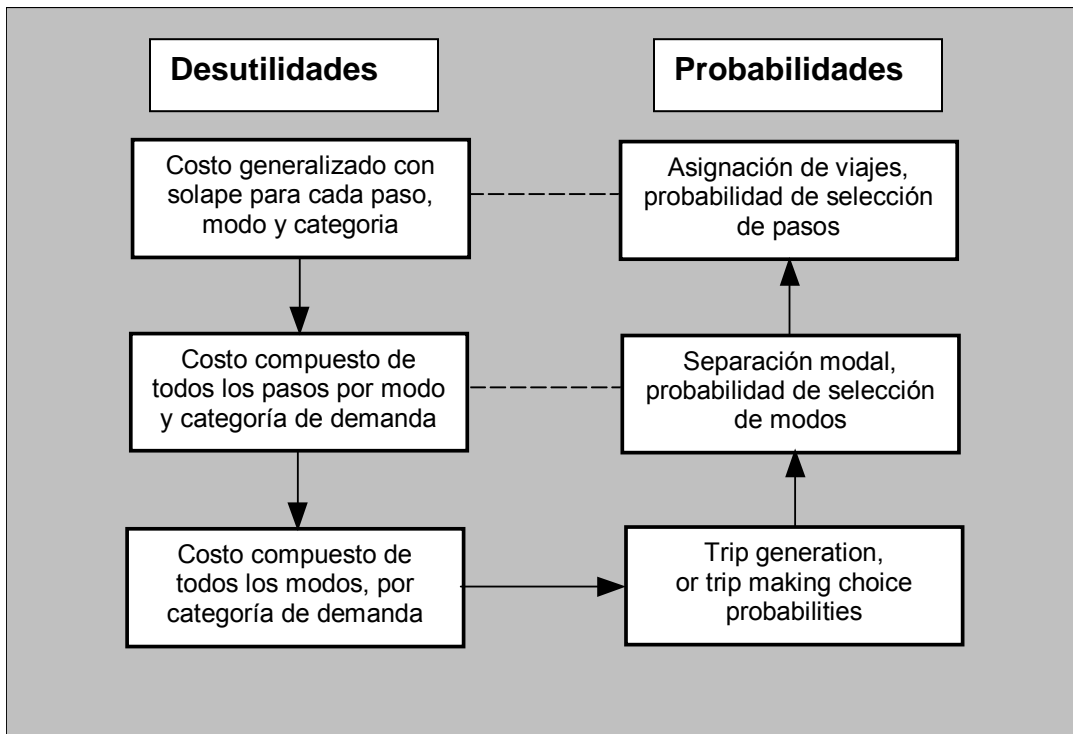
Fuente: www.modelistica.com, Formulación Matemática de TRANUS.

Lo primero que hace TRANUS es buscar pasos, es decir, asigna los viajes iniciales que se obtuvieron del modelo de actividades a rutas en la red vial para los pares origen destino, por modo y para diferentes operadores (quienes pueden seguir rutas similares). Esta asignación se hace en función de los costos de utilizar cada ruta. Hay varios costos a considerar. Primero están los costos relacionados con el tiempo de viaje. Es importante conocer una serie de valores como por ejemplo, costos de operación relacionados con el tiempo, valor monetario del tiempo de viaje, factores de penalización que se aplican al tipo de

vía y al operador, etc. También hay costos relacionados con la distancia (por ejemplo, los taxis cobran por tiempo y no sólo por distancia recorrida). Si hay costos de transferencia, también aquí son relevantes. Por ejemplo, para cada ruta TRANUS puede calcular el costo monetario y en tiempo para el usuario de utilizarla (tiempo de viaje, tiempo en trasbordos y demas). También hay costos operacionales (por vehículo) tales como reparaciones. Finalmente hay costos de utilización de energía.

Los costos se generan en un orden jerárquico y a partir de ellos se estiman las desutilidades para el resto del modelo de transporte, como se muestra en la figura 5. Primero se calculan los costos de utilizar cada paso. Lo que el modelo produce son los costos derivados de utilizar cada ruta (velocidades y tiempos de viaje) y el volúmen de vehículos circulando en cada ruta. Estos costos afectan la selección de rutas de transporte o asignación de viajes a la red.

FIGURA 5. Desutilidades y probabilidades de decisión



Fuente: www.modelistica.com. Formulación Matemática de TRANUS.

Después se agregan los costos de rutas para obtener un costo general para cada categoría de demanda (usuario) y modo de transporte. Estos costos afectan la repartición modal. Finalmente, se agregan estos costos para obtener un costo general por categoría de demanda de transporte. Estos costos afectan la decisión de generar viajes por parte de los usuarios.

Para la generación de viajes se toman los flujos origen destino que se obtuvieron del modelo de actividades y se “convierten” en viajes. Se necesita conocer el mínimo y máximo de viajes así como también la elasticidad de cada categoría de usuario con respecto a la desutilidad. Si la congestión crece, la desutilidad también lo hará a la tasa que dicte la elasticidad. Si esto ocurre habrá demanda reprimida. De ocurrir lo contrario habría demanda inducida.

La repartición modal se puede hacer de dos formas. La primera es utilizando un modelo logit de elección discreta donde los insumos son información referente al costo de utilizar cada modo en cuanto a costo monetario y tiempo (desutilidad de cada modo de transporte). Esta información se usa para calcular la probabilidad que cierto tipo de usuario (utilice cierto modo de transporte). Otro insumo es un parámetro de dispersión (constante específica a la alternativa). Si dicho parámetro es muy alto, quiere decir que la categoría que se está considerando preferirá el modo de menor desutilidad, si dicho parámetro es cercano a cero, quiere decir que ese grupo de usuarios repartirá su uso de los modos de manera equitativa.

La otra forma de hacer la repartición modal es mediante sustitución del análisis logit por penalizaciones categoría-operador en la etapa de asignación. Dicha penalización representa las preferencias de los usuarios de cada categoría. En el caso de TRANUS México, las categorías son los tipos de usuarios (por ejemplo, población de estratos económicos bajos). En este caso la disponibilidad vehicular de cada categoría de demanda es un producto de la calibración y no un insumo del modelo.

Cualquiera que sea el procedimiento que se sigue, el modelo produce la repartición modal para cada grupo de usuarios. Por ejemplo, se puede encontrar que el grupo de estrato económico medio utiliza el auto para el 40% de los viajes que realiza 60% de sus viajes en transporte público.

Finalmente se hace la asignación de viajes a la red. Se calculan las velocidades de viaje y los tiempos de espera para el tráfico. Estos afectan los costos como se muestra en la figura 5. Si la demanda de viajes excede la capacidad, la congestión y los tiempos de espera crecen y suben los costos, afectando la demanda de viajes como se puede ver en la figura 4. Esta nueva demanda se asigna de nuevo calculando los modos y asignándolos a la red, para generar nuevos costos.

El proceso iterativo continúa hasta que los cambios entre las velocidades y volúmenes asignados a cada enlace de cada iteración con respecto a los valores de dichas variables de la iteración anterior sean muy pequeños de acuerdo a algún criterio de convergencia.

3.4 EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS EN TRANUS

Al terminar de correr el modelo TRANUS, se estiman las ganancias de los operadores (productores) y usuarios (consumidores) de transporte. Las ganancias calculadas son tanto monetarias como sociales (tiempos de viaje). El modelo produce información como sigue: beneficios a los usuarios (por categoría), beneficios a los operadores de transporte, beneficios a los administradores del transporte, costos de capital, ahorros energéticos, otros costos o beneficios, beneficios totales, costos de capital descontados, beneficios totales descontados, saldos anuales descontados.

4 EVALUACION DE METODOLOGIA

En esta sección se detallan los resultados de la evaluación metodológica. Primero se describe la experiencia en la utilización del software TRANUS. Después se procede a la evaluación de TRANUS para la ZMVM. Finalmente se describen los cambios o correcciones que se hicieron para generar un nuevo escenario.

4.1 TRANUS COMO HERRAMIENTA PARA MODELAR LA ZMVM

Para este estudio se utilizó la versión 2005.6.1 del software para correr TRANUS, bajada de manera gratuita de la página de red de modelística. Al revisar y utilizar el modelo de TRANUS - México se volvieron aparentes los siguientes aspectos:

1. Apoyo técnico: El tiempo de respuesta del soporte técnico no siempre es el requerido para avanzar de manera rápida cuando se utiliza la versión gratuita de TRANUS. Para una mega-ciudad vale la pena la inversión en una licencia que trae el beneficio de un apoyo técnico de respuesta más rápida.
2. Apoyo con manuales: Modelística cuenta con cuatro documentos de soporte para TRANUS que se pueden bajar de la red: Estructura Matemática de TRANUS, Programas Ejecutables, Interfaz Gráfica y Base de Datos, y finalmente Tutorial. Además, en la página de red se encuentra una descripción general del software. Una copia de cada uno de estos documentos en la versión que se utilizó para elaborar este reporte se encuentra en el Anexo A. La información en estos manuales es más amigable que los manuales técnicos de otros paquetes porque muestran ejemplos sencillos y fáciles de seguir. Sin embargo, a diferencia de manuales técnicos de otros paquetes, y por la misma razón, dejan fuera información relevante para casos más complicados que los ejemplos mostrados en los manuales. Por ejemplo, si alguna aplicación se quiere hacer utilizando alguna opción diferente a aquella mostrada en los tutoriales, las instrucciones para realizarla no se encuentran paso a paso¹. Esto obliga al usuario a apoyarse mucho en el soporte técnico (mencionado arriba).
3. Necesidades computacionales: Es mucha la cantidad de información sobre nodos, enlaces, rutas, zonas, elasticidades de oferta y demanda, crecimiento económico y poblacional, y transporte exógeno de carga requeridos para modelar la ZMVM. Por consiguiente, el tiempo de respuesta del software se

¹ Por ejemplo, se muestra cómo dar incrementos globales para crecimiento poblacional en el Tutorial. Sin embargo, no se muestra algún ejemplo de cómo ingresar funciones de crecimiento.

vuelve lento. Esto se agrava por el hecho de que algunos valores únicamente pueden ingresarse directamente por las ventanillas de TRANUS y no de manera fácil a través de archivos en excel o en formato de texto (sin necesidad de re-importar la red vial completa). Las consultas en ventanas y sobre la red vial se llevan mucho tiempo en TRANUS. Este problema no sucede con otros paquetes como TransCAD cuyo tiempo de respuesta e ingreso de datos es más rápido. Sin embargo, es posible que este problema se resuelva en el futuro con el uso de equipos de computación nuevos cuyos procesadores sean más poderosos².

4. Compilación de resultados: En TRANUS, los programas de cálculos se lanzan desde dentro de TRANUS (dentro de los archivos “.tuz”). Sin embargo, para correr los programas que compilan los resultados es necesario abrir una ventana en DOS y correrlos fuera de TRANUS. Este proceso tiene que repetirse para cada uno de los años modelados. Los archivos de salida incluyen información relevante para cada sub-escenario (en este caso hora pico por año modelado). La compilación de resúmenes que incluyan información sobre todos los años en conjunto se deja al usuario. Versiones futuras de TRANUS prometen confinar el lanzamiento de todos los programas desde dentro de TRANUS para evitar confusiones y la compilación de tablas fuera del software.

5. Gráficos en TRANUS: TRANUS no despliega mapas como otros paquetes de sistema de información geográfica (GIS). TRANUS no maneja a las zonas como mapas sino como nodos. Aunque este manejo de nodos es muy eficiente, es difícil para el usuario ubicar las calles dentro de la ZMVM a falta de un mapa de áreas. Otros softwares, como TransCAD, aunque también conectan la red a las áreas desde nodos, tienen capacidad de generar mapas.

Por todas estas razones, actualmente TRANUS parece ser óptimo para ciudades pequeñas y medianas, pero aún no del todo para ciudades grandes. Sin embargo, versiones futuras de TRANUS pueden ser más amigables en la modelación de la ZMVM. Sin embargo, TRANUS tiene la ventaja de poder modelar el ambiente urbano de manera dinámica. En otros paquetes (como TransCAD) no es más difícil y tardado crear nuevos escenarios que puedan compararse. Por consiguiente, el esfuerzo de modelar a la ZMVM con TRANUS no debe de ser descartado.

² Para este estudio se utilizaron primordialmente dos equipos. El tiempo requerido para correr un sub-escenario (representando una hora pico para un solo año) fué de entre 4 y 5 horas utilizando un equipo con sistema operativo Windows XP Profesional versión 2002, con procesador Pentium (R), 4 CPU 2.00 GHz, 1.99 GHz, y más de 700 MB RAM. El tiempo requerido para correr un sub-escenario fué de aproximadamente 3 horas utilizando un equipo con sistema operativo con procesador Pentium (R) M 1.86 GHz, 1.86 GHz, 1.86 GHz, 1.00 GB de RAM. Las consultas en ventanilla tardaron más para el modelo de la ZMVM que para el tutorial, por lo que se infiere que el tamaño del archivo de la ZMVM es el factor responsable de esta lentitud.

4.2 LOS CORREDORES DE TRANSPORTE

4.2.1 Período de crecimiento y calendario de implementación

En TRANUS – México el año de partida del análisis es de el 2002. Sin embargo, los datos que se requieren para calibrar el modelo son para el año 2003. Estos datos incluyen los conteos vehiculares realizados por SETRAVI y la encuesta Origen Destino para los corredores mismos. El reporte de ETEISA (2004), anterior al del INE (2005) menciona que el 2002 se escogió función de que toda la información que se requiere es para diferentes años que no coinciden. Y que por ello la información esta desfazada. Efectivamente, información confiable de costos operativos, por ejemplo, se encuentra solamente para el 2002, como se verá más adelante. Sin embargo, es más fácil suponer que los costos y demás variables no cambian en términos reales entre el 2002 y el 2003 a suponer flujos vehiculares para el 2002 a partir de información sobre conteos vehiculares del 2003. Por consiguiente, en este trabajo se redefinió el año de inicio como el 2003.

El calendario de introducción de corredores se supuso como se muestra en la tabla 1:

TABLA 1. Supuestos de implementación de corredores

Escenario	Corredor	Año
05C	Insurgentes	2005
06C	Eje 8	2006
07C	5 corredores	2007
08C	5 corredores	2008
09C	5 corredores	2009
10C	5 corredores	2010
11C	5 corredores	2011
12C	6 corredores	2012

Fuente: ETEISA 2004.

Este plan de construcción es tal vez algo ambicioso. En particular, aunque la construcción de los corredores no se lleve más de cuatro o cinco meses, hay que considerar que también se requiere tiempo de negociación y re-organización con choferes de otros modos de transporte y con la ciudadanía que se vería afectada de forma negativa por los corredores.

Un supuesto tal vez más realista sería el de introducir 3 corredores por año. El problema con aplicar este nuevo supuesto de que ciertas variables no cambian en el tiempo se debilita entre más tiempo se tenga que modelar. A partir del

2007 y a 3 corredores por año el año de modelación final sería 2017. Esto es así porque la implementación a partir del 2007 se haría en 10 años en vez de 6. También se complica el uso del software ya que cada año adicional implica más horas en correr todos los programas (y como ya se mencionó este proceso es extremadamente lento). Sin embargo, la única solución factible si se quiere observar un calendario más realista, a expensa del supuesto sobre variables estables en el tiempo es modelar otro calendario.

Para esto se tendrían que re-definir los corredores en la red para cada nuevo año incorporando la información relevante sobre rutas. Por ejemplo, se podrían generar dos copias del escenario 07C. Al quitar del mismo dos de los corredores se obtendría el nuevo escenario para el año 2007. Para el escenario 08C (2008), entonces, se la segunda copia del escenario 07C original y se agregaría un corredor del escenario 08C. Para el escenario del 2009 se tomaría una copia del escenario 08C y se quitaría un corredor. El hacer esto rebasaría los límites de este estudio pero puede ser un experimento interesante a realizar en el futuro.

4.2.2 Rutas, frecuencias, paradas y tarifa

Los datos sobre frecuencias de metrobús que se ingresaron al modelo original fueron de entre 250 y 260 autobuses por corredor para aquellos corredores que se implementan a partir del año 2007. Los corredores de Insurgentes y Eje 8 tuvieron frecuencias de entre 80 y 100 metrobuses en promedio, que parecen razonables. Cada corredor se compone de una serie de enlaces con un nodo origen y otro nodo destino para cada enlace. Sin embargo, los corredores variaron en tamaño. Un corredor pequeño (de dos o tres enlaces) operando con 250 metrobuses modela pérdidas innecesarias y poco realistas para los operadores. Por otra parte, un rango muy pequeño causará que se sature el corredor y forzará al modelo a asignar viajes a otros medios de transporte cuyas trayectorias serán más largas y costosas. Por consiguiente, este rango se expandió a entre 5 y 260 metrobuses por corredor para permitir una mayor flexibilidad en el ajuste de la oferta de metrobuses. Es importante notar que el ajustar las frecuencias de las más de 500 rutas de transporte público excedió los límites de este estudio pero se recomienda para versiones futuras. Sin embargo, también es necesario hacer esto con precaución. Al incrementar los rangos estamos suponiendo que la Ciudad tiene capacidad ilimitada de proveer transporte público. Este puede no ser un supuesto realista.

Al utilizar el software se volvió aparente que las rutas (en formato de listas de nodos que componen cada uno de los 31 corredores) que se empiezan a incorporar en el año 2007 no se habían ingresado a las casillas correspondientes. También se volvió aparente que la lista de nodos que sigue

cada corredor (que se encuentra en las páginas 36 a 40 del reporte INE 2005) era de utilidad parcial. En ese reporte se dieron los rangos de códigos de nodos a alterar (cuadro 15), pero no se nos dice exactamente qué nodos pertenecen a qué corredores, por lo que fue necesario identificar cada corredor individual navegando la red vial en pantalla. Adicionalmente, algunos nodos no están secuenciados por lo que no fue posible identificar cada ruta con solamente hallar el nodo origen y el nodo destino del corredor entero. El archivo Corredores.doc en el anexo D muestra listas completa de los mismos. Estas listas fueron ingresadas a las casillas correspondientes para poder correr un escenario nuevo con corredores.

Con respecto a los corredores de Insurgentes y Eje 8, estos fueron ingresados de manera correcta. El número de paradas en el corredor Insurgentes se revisó y se encontró que este número era correcto.

En general, el número de paradas por corredor parece razonable en virtud de la longitud de cada corredor y la densidad de población que lo rodea. Las distancias entre paradas, en su mayoría parecen razonables si las comparamos, por ejemplo, con la distancia promedio entre estaciones de metro de la línea Indios Verdes que es de aproximadamente 1.06 kilómetros por recorrido³ y que es un sustituto del autobús en muchos casos. Esta información se verificó al revisar cada corredor.

El costo por utilizar el servicio de autobús articulado en corredor se supuso de \$3.50 y se supuso fijo para todo el período de estudio. Esto es posible si suponemos que el valor real⁴ de la tarifa no cambia en el tiempo. Sin embargo, el mantener una tarifa constante puede implicar pérdidas eventuales para los operadores. Por ello, en el futuro es necesario explorar diferentes tarifas en estudios de sensibilidad.

Se supone que los metrobuses normales viajan a velocidades entre 25 y 27 kilómetros por hora y que los metrobuses expresos viajan a 32 kilómetros por hora. Estos son supuestos razonables del flujo de los autobuses. De haber congestión severa, en teoría esto no afecta al carril exclusivo del corredor porque por él no viajan los autos, de manera que estas velocidades pueden mantenerse relativamente constantes.

³ Esto puede consultarse en: <http://www.metro.df.gob.mx/red/linea3.html>.

⁴ El valor real es el costo que implica la tarifa como porcentaje del ingreso de las personas. Si las tarifas aumentaran, pero también lo hicieran los ingresos de las personas, el valor real de la tarifa se mantiene igual.

4.3 SUPUESTOS SOBRE ACTIVIDADES Y USO DE SUELO

4.3.1 Zonificación

Como se mencionó en los antecedentes, lo primero que TRANUS requiere es una división de la región de estudio en zonas. La zonificación empleada en TRANUS por ETEISA (2004) careció de documentación detallada. El reporte de ETEISA define a la ZMVM, la región de estudio, como aquella que incluye las 16 delegaciones del D.F., 40 municipios del E.M y 1 municipio del Estado de Hidalgo, basándose en el área de crecimiento potencial, influencia de la infraestructura vial y de transporte utilizada. Sin embargo, en realidad el Estado de Hidalgo se incluyó como sector externo solamente⁵. Vale la pena mencionar este error en la información para evitar confusiones en el futuro. El Estado de Hidalgo (Pachuca) se incluyó de forma exógena junto con Querétaro (Querétaro), Puebla (Puebla), Toluca (Estado de México), Pirámides (Estado de México), y Cuernavaca (Morelos). De este hecho se infiere que el historial de la población y actividad económica de Pachuca y las demás zonas exógenas no fueron incluídas dentro del análisis pertinente a la ZMVM misma (supuestos de tasas de crecimiento poblacional y económico).

La división de la región de estudio se basó en la zonificación realizada en reportes anteriores que dividieron a la ZMVM primero, en distritos 135 (Encuesta Origen Destino 1994), luego en 468 Zonas Estratégicas de Análisis ó ZETAS (UNAM/SETRAVI, 2002)⁶, luego en 156 distritos (Encuesta Origen Destino 2003) donde se utilizaron los distritos de la Encuesta Origen Destino (EOD) 1994 y se agregaron nuevos distritos que para el 2000 ya formaban parte de la ZMVM. Todas estas zonificaciones parten de la división de la ciudad por AGEBS (Areas

⁵ Ninguno de los archivos geográficos de los anexos I, II y III, que corresponden a la zonificación y cartografía de la ZMVM, incluye el Estado de Hidalgo como zona interna a la ZMVM. También surge confusión porque en la zonificación del area de estudio (Anexo II, CD 1) se listan las zonas que se definieron para el estudio, pero en esa lista no se incluye una columna que indique cuáles zonas pertenecen al D.F. y cuáles al Estado de México. En vez, esto se tiene que inferir del mapa en TransCAD del anexo I.

⁶ En UNAM y SETRAVI (2002), la ZMVM se construyó partiendo de de información previa de INEGI sobre 4200 AGEBS, 1600 ZATS (Zonas de Análisis de Transporte), 135 distritos y 56 municipios/delegaciones,) y obtuvieron: 4537 AGEBS, 1174 ZATS, 468 ZETAS, 166 distritos y 60 UPAS. Este trabajo sobre la geografía fue un esfuerzo muy bueno y de calidad. Sin embargo, posteriormente, al utilizar las 468 ZETAS como la nueva definición de zonas para el análisis de transporte y uso de suelo, se utilizó una metodología incorrecta para “re-distribuir” los viajes y armar una nueva matriz origen destino. Para hacer esto se utilizó información de la EOD94 en cuanto a viajes y en cuanto a factores de expansión. La definición de zonas en la EOD94 fue por distrito por lo que su representatividad a cualquier nivel geográfico menor (más desagregado) se pierde. El utilizar esta información con las nuevas ZETAS no tiene validéz metodológica, ya que la incertidumbre sobre la representatividad es muy grande. Por eso, esta matriz origen destino no debe de ser empleada en el futuro. TRANUS genera su propia matriz origen destino a partir de los datos socioeconómicos se se ingresan.

Geo-estadísticas básicas) que lleva a cabo INEGI. En los reportes de UNAM y SETRAVI 2002 (Anexo I, "Informe de Análisis de Información") se habla de la dificultad de unir la información geográfica tanto porque en los archivos geográficos hay inconsistencias en los límites, como también por los cambios territoriales que ha ido sosteniendo la zona de estudio, que no han sido documentados de manera comprensiva en una sola base de datos de INEGI. Las actividades al respecto del análisis y procesamiento de información fueron razonables en este caso y las correcciones fueron muy adecuadas dado el estado de la información cartográfica y la escasez de tiempo.

Sin embargo, al final la zonificación que ETEISA utilizó de 298 zonas internas y 6 externas, no fue documentada adecuadamente por lo que no quedó clara el área que cada zona ocupa ni de qué forma se basó en las zonificaciones reportadas en trabajos anteriores. Tampoco se incluyó un mapa de esta zonificación final empleada en TRANUS dentro de la documentación de los anexos, sino tan sólo se incluyeron las zonas en archivos TransCAD como se construyeron en UNAM y SETRAVI 2002.

Se desconoce el área física que ocupan estas 298 zonas internas y 6 externas. Por ejemplo, si se tomaron 4 o cinco ZETAS por zona en función de su similitud en cuanto a ingreso y población. Al comparar el número de ZETAS que se representan en los mapas de TransCAD (Anexo I) con el número de zonas en TRANUS, se vuelve evidente que es factible que ETEISA tomó un subconjunto de ZETAS como base para el modelo TRANUS. Habrían dejado fuera aquellas ZETAS que estaban relacionadas con los tramos de red secundaria que se dejaron fuera (se elabora sobre la red secundaria incompleta más adelante en este reporte). Si este fuera el caso, se dejaron fuera por lo menos 170 ZETAS (junto con sus datos de población y empleo) y no es de sorprenderse entonces que la calibración del modelo logró predecir sólo 80% de los viajes. El dejar fuera zonas disminuye el número de viajes que se modelan en la red y subestima la congestión que puede darse con los viajes que se dejaron fuera. También se alteran los orígenes y destinos de los viajes, y por consiguiente, las distancias recorridas en los viajes y su localización geográfica.

Adicionalmente, no se reportaron viajes entre la ZMVM y las zonas exógenas. En el futuro también sería pertinente crear una matriz exógena de transporte de zonas exógenas tanto para viajes de pasajeros (personas que entran a trabajar al D.F. desde estas zonas, por ejemplo) como de carga.

Aquí vale la pena hacer el comentario de que el sistema de transporte tiene que modelarse completo. Nunca es suficiente dejar fuera trozos de la ciudad. Como la ciudad es un sistema completo, dejar fuera un trozo de ella sencillamente no da buenos resultados. Como mínimo, la población e información de actividades de las zonas que se dejaron fuera, si es que este fue el caso, se debió de haber conectado a las porciones de la red que sí se estaban incluyendo, con

conectores artificiales. Como se verá más adelante, al corregir la población para efectos de este estudio, implícitamente esto fue lo que se hizo.

Para verificar de dónde salen estas 298 zonas y en su caso corregirlas (si es que no representan homogeneidad de población y demás criterios necesarios como se describe en UNAM/SETRAVI 2002) o agregar aquellas que faltan (si es que ZETAS se dejaron fuera del conjunto original) hay que comparar las zonas de TRANUS con la información de ZETAS que se encuentra en software TransCAD. Como mínimo hay que averiguar si algunas de las coordenadas de los centroides de TRANUS se parecen a las de los centroides de las zonas en TransCAD (las coordenadas requieren conversión de un sistema al otro) y aún así no sabremos cuál es el área geográfica exacta que cubren las 298 zonas y se llevará tiempo el averiguarlo. De tener que corregir la definición que utilizó ETEISA o emplear otra, se tendrían que re-hacer las bases de datos de sectores (población, comercio, servicios y manufacturas) en función de la nueva zonificación. Esta labor de revisión y en su caso, corrección o adición se llevaría semanas. En cuanto a uso de suelo, se debe de documentar la zonificación que se utilizó incluyendo un mapa con áreas en otro software (TransCAD).

En los documentos de UNAM y SETRAVI (2002) se menciona que la razón para dividir los distritos que se tenían inicialmente de la EOD 1994 era porque el tener un solo centroide para una gran extensión de territorio como lo es el distrito, subestima el costo de los usuarios de utilizar diferentes modos de transporte. Esto es así porque alguien que reside o trabaja cerca de una estación de metro tendrá menor costo que alguien alejado quien tenga que hacer algún trasbordo adicional o caminar más tiempo. Una solución entonces habría sido utilizar la división de la EOD 1994 mejorada por UNAM e incrementar el costo promedio de utilizar el conector del centroide al resto de la red. Esto es así porque la información de EOD 1994 y EOD 2003 se hizo por distritos y no tiene representatividad a una resolución geográfica menor (como lo serían ZETAS o AGEBS). Habiendo dicho esto, vale la pena conservar la zonificación de ZETAS que se hizo porque sería una muy buena base para realizar nuevas encuestas origen destino y modelar tráfico.

El hacer la revisión correspondiente a zonas excede los límites de este estudio por lo que, como se verá adelante, se hicieron algunos supuestos sobre la repartición de la población, tomando como dada la zonificación de ETEISA (2004). Sin embargo, para el futuro esta revisión es imprescindible para ayudar a poder poner los resultados en contexto.

4.3.2 Modelación de las actividades

4.3.2.1 Sectores

Los sectores principales de la economía fueron las manufacturas, comercios, servicios y población de estrato económico bajo, medio y alto, más el uso de suelo (uso residencial mixto). Esta división es razonable, ya que concuerda con la clasificación de población y economía de INEGI. Como se mencionó antes, es difícil esclarecer a qué se refieren los parámetros asociados con estos sectores que se encuentran en TRANUS. En particular, hay cuatro parámetros que pide el modelo pero el manual no aclara para cuál submodelo dentro de TRANUS son. De una revisión del apéndice matemático se concluye que pertenecen a la parte de localización de producción inducida que involucra un modelo de utilidad logit (ecuaciones 15 a 18). En documento de ETEISA no aclara qué valores se utilizaron para estos parámetros y por qué se utilizaron estos y no otros.

El primero es la elasticidad o parámetro de distribución que multiplica a la función de utilidad del modelo logit (β^n). Este parámetro se aplicó correctamente para manufacturas y uso residencial mixto que se consideran exógenos (elasticidad=0) y por tanto, no se localizan. Para comercio y servicios se supuso de 2.3 y para las poblaciones de estratos altos, medios y bajos se supuso de 1.8. El por qué se utilizaron estas cifras específicas para elasticidades no se documentó de manera adecuada. Sin embargo, en general las cifras parecen razonables. En teoría tendrían que haberse estimado a partir de información sobre precios de alguna demanda. A partir de estos valores se puede interpretar que los comercios y servicios son más sensibles a cambios en la utilidad (que depende de los precios y del costo de transporte). Es decir, que si cambian los costos y por ende la utilidad, entonces los comercios y servicios cambiarán de localidad con mayor flexibilidad que aquella con la que cambie de residencia la población. Esto es razonable.

El siguiente parámetro es la escala de precio (parámetro que multiplica al precio en la función de utilidad) que se supuso igual a 1 para todos los sectores (λ^n). De este factor no hay fuente o documentación. Sencillamente se infiere que el precio es muy importante ya que al cambiar, cambiará la utilidad en la misma proporción que en la que cambió el precio.

Tercero, un factor de atracción (α^n) que se aplica al resultado de la función de atracción del modelo de distribución logit) y cuyo valor por defecto es 1. Este fue el valor que se supuso para México en todos los sectores. Este valor implica que para cada sector, la influencia que tiene cada término de atracción sobre la probabilidad de elegir una zona de localización es el mismo (1) y proporcional.

implica que se supuso no hay un tipo de suelo en alguna localidad que sea preferido a otro por los sectores. Esto es consistente con el hecho de que se supone hay un solo tipo de suelo de uso residencial mixto. En realidad esto no necesariamente es cierto, pero para la ZMVM es un supuesto simplificador necesario a falta de información sobre usos de suelo, precios y debido a que las reglas de zonificación no han sido estables en el tiempo.

Finalmente la escala logit (θ^n) indica el grado en que las utilidades se escalan respecto a la utilidad de la mejor opción y está dado entre 0 y 1, y el default es 1. Para México se supuso que era igual a 1 que implica que la utilidad no esta dada en valores totales sino en una especie de proporción con respecto a la utilidad que otorga la mejor opción de localización.

En el futuro se recomienda hacer análisis de sensibilidad con estos parámetros o esclarecer su origen, reduciendo la incertidumbre que crea la falta de información. Por ahora se suponen correctos y se toman como dados para el nuevo escenario. En general el suponer esto no debe de implicar errores muy grandes, ya que los mismos parámetros se utilizan tanto en el escenario con corredores, como en el escenario base. Esto significa que el error, de haberlo, es similar en ambos escenarios. Al comparar los escenarios, el error, en teoría, se cancela.

4.3.2.2 *Intersectores*

No se especificó si se utilizó el componente insumo producto o funciones de demanda (ecuación 9 del apéndice matemático de TRANUS). Al revisar la base de datos se volvió aparente que se utilizaron las funciones flexibles de demanda pero con elasticidades igual a uno y demandas mínimas. La fuente o razón por la que se utilizaron estas elasticidades no se documentaron de manera adecuada. Esta elasticidad implica que al incrementarse el costo o desutilidad por el mismo, la demanda cae en proporción. También se requirió información sobre demandas máximas y mínimas pero sólo se dieron demandas mínimas reduciendo la ecuación 9 a una función de utilidad muy sencilla que relaciona la desutilidad o costo de manera exponencial a la demanda inducida. En otras palabras, se toma la demanda mínima que se supone y está cambia en proporción directa y exponencial a la desutilidad.

Otro punto de confusión es que ninguna de ellas tiene una demanda mínima de uso residencial mixto. Esto implica que todos los sectores pueden tener un uso de suelo del tamaño que sea (es decir, que un banco puede ocupar, por ejemplo, una cantidad de suelo flexible y no requiere un mínimo de suelo para operar). Este supuesto es dudoso pero es factible que todos los supuestos que se hicieron en esta parte se hicieron por falta de información detallada sobre mercados. Por consiguiente, existe algo de incertidumbre sobre estos valores.

Adicionalmente se supusieron para todos los sectores un tipo de movimiento o flujo habitual (igual a 1) reflejando el hecho de que se están modelando viajes al trabajo que se hacen de manera cotidiana. Se supuso también un factor de tiempo de 220 para convertir los flujos económicos mensuales (considerando los días hábiles) a flujos diarios. Se considera que la hora pico es 10% del flujo total diario y que este flujo se realiza 22 veces al mes ($10 \times 22 = 220$). Es posible que el flujo de la hora pico sea mayor al 10% diario por lo que este supuesto requiere más investigación a futuro. Si este fuera el caso, el total de viajes en la hora pico estaría siendo subestimado. Para verificar esto hay que buscar pistas en los conteos de línea de SETRAVI del 2003 y en la EOD 2003.

Se supuso un factor de volumen igual a 1 porque todo se mide en “numero de personas” y no en unidades monetarias, de peso o de volumen. Esto es razonable salvo el problema de que no conocemos la procedencia de los datos coeficientes económicos mismos como ya se mencionó.

Luego se hicieron supuestos sobre la direccionalidad de los viajes. De nuevo aquí la terminología se presta a mucha confusión. Para TRANUS, los consumidores de bienes y servicios son productores de empleo. Por consiguiente, para los trabajadores las zonas de producción son sus hogares y las zonas de consumo son sus lugares de empleo. Por esto se supone que la mayoría de los viajes (95%) son viajes hacia las zonas de consumo (hacia los empleos) y sólo un 5% se supone va en dirección opuesta (de las zonas de empleo a los hogares o zonas de consumo como podría ser el caso de algunos viajes relacionados al trabajo). Para los productores es al revés ellos venden en las zonas. Para los sectores comercio y servicios se supuso que la proporción del total de viajes que fluyen hacia los centros de producción es de 0.95 mientras que los viajes realizados hacia centros de consumo son 0.5. Esto es así porque es la población (ahora en calidad de consumidor), la que se moviliza hacia los centros de producción u oferta de bienes y servicios. Se supone que un 5% de los viajes se hacen en sentido opuesto yendo desde los centros de servicio y comercio hacia los hogares. En principio parecen razonables estas cifras.

Para verificar estos porcentajes habría que investigar de los viajes al trabajo en hora pico, cuáles tienen origen en el hogar y cuáles tienen origen fuera. Esto podría hacerse con información sobre motivos de viajes de la EOD 2003 y se llevaría varios días. Para el caso de transporte de carga hacia centros de consumo, se infiere que se utilizaron los mismos porcentajes a falta de más información sobre el transporte de carga. Un análisis de sensibilidad sería recomendable aquí para hacer diferentes supuestos sobre carga y esto implicaría varias corridas en TRANUS.

Aunque TRANUS ofrece la opción de utilizar sustitutos esta no se usó para la ZMVM. Esto habría requerido información sobre mercados, misma que ese

dudoso que exista para la ZMVM y en un formato que pueda utilizarse fácilmente en TRANUS.

Finalmente en esta sección se tienen los términos de atracción. Hay dos tipos. Primero, para manufacturas se supuso un término exógeno de atracción de 0.5 que parece pertenecer a la ecuación 3, y un factor de producción de 1 cuya procedencia no está clara. En otra ventana se listan atractores de producción que varían entre 0.1 y 0.8 y que se ingresan al modelo. Aparentemente estos se refieren a la variable A_j^n de la ecuación 17. No se documentó razón para utilizar las cifras mencionadas en el reporte de ETEISA (2004).

Es posible que alguna de la información se haya derivado de una calibración realizada por el Colegio de México a un modelo de gravedad (COLMEX 2000). Sin embargo, en ese estudio no se reportaron los resultados de dicha calibración por lo que no es posible saber si esa es la fuente.

Debido a la falta de documentación, por ahora estos valores se toman como dados para poder crear el nuevo escenario. Es muy recomendable continuar investigando su origen y hacer análisis de sensibilidad para observar su impacto sobre los resultados y disminuir la incertidumbre que crean. Sin embargo, como todos estos valores se conservan en ambos escenarios, esto implica que cualquier error introducido se introduce por igual a ambos escenarios. Lo relevante para este estudio es comparar los escenarios, más que obtener cifras precisas para cada uno.

4.3.2.3 Localización de actividades

Como se describió en los antecedentes, el modelo de actividades toma la información del crecimiento exógeno de la población y actividad económica, y con un modelo de elección discreta distribuye la población y actividad económica en diferentes lugares de la región de estudio. Este proceso es asistido por información de precios y áreas requeridas por todos los sectores. En la revisión de TRANUS - México se encontró que este mecanismo de TRANUS no fue aprovechado.

Una revisión de la base de datos en TRANUS referente a las actividades reveló que no se dejó operar el mercado de bienes raíces. No se incorporó información sobre precios (rentas) ni áreas vacantes restantes en las zonas (como se mencionó antes). Es difícil modelar el mercado de bienes raíces en México, dada la falta de información y el hecho de que es factible que no opere como un mercado regular. Es posible que se haya hecho esto a falta de una matriz

origen destino reciente⁷. TRANUS genera una matriz origen destino a partir de la información económica y de localización, y lo hace para cada año modelado.

Lo que se hizo en TRANUS entonces fue calcular las matrices origen destino en función de actividades cuya localización se dió de manera exógena. Se supuso que cada zona del D.F. pierde entre 1% y 3% de población al año mientras que las zonas del Estado de México ganan entre 1% y 3%⁸. y de datos sobre bienes raíces con los que se pudiera utilizar el modelo de localización de actividades. El posible impacto del crecimiento de la ciudad sobre el transporte y viceversa si midió, entonces, de manera ad-hoc. El resultado que se obtuvo no refleja las condiciones que se darían en la ciudad sino más bien las condiciones que se suponía resultarían si el D.F. continuara perdiendo población y el Estado de México continuara creciendo.

Por ahora este supuesto se mantiene, ya que excede los límites del estudio revisarlo y puede considerarse como un escenario. Sin embargo, es importante tratar el tema. Esto es así porque un posible impacto de Metrobús es atraer población e incrementar la densidad a lo largo de los corredores, alterando la longitud y duración de algunos viajes. Además, como no se dio información sobre las áreas físicas de las zonas, no es posible evaluar si las tasas a las que se agrega población al Estado de México son tales que se exceden los límites físicos de espacio existente (tamaño y número de edificios que es posible construir en cada zona). El impacto de hacer esto es sobrestimar o subestimar los viajes dependiendo de lo que habría pasado al uso de suelo si se hubiera dejado el mecanismo de TRANUS operar.

4.3.2.4 Supuestos sobre crecimiento poblacional

Los supuestos de crecimiento poblacional que se utilizaron eran antiguos (basados en estudios de CONAPO, 1998) y se pudieron haber actualizado con información que ya existía de INEGI. Como se mencionó en una sección anterior, se dividió a la población en tres grupos: estrato económico alto, medio y bajo. También se dividió a los empleos en tres categorías: manufacturas, comercios y servicios. Estas divisiones son razonables y parte de las clasificaciones que utiliza INEGI en sus censos de población y económicos. Acorde con proyecciones de CONAPO, se supuso una tasa de crecimiento poblacional de 1.4% entre el 2003 y el 2008, bajando a 1.3% en el quinquenio siguiente. Para el crecimiento económico se supuso una tasa de crecimiento de 1.5% para el empleo total entre el 2003 y el 2008 y de 1.4% entre 2009 y 2013 (0.1% por encima de la población).

⁷ La encuesta Origen Destino del 2003 no fué comprehensiva por lo que no tiene validez a nivel ciudad. Por consiguiente, una matriz origen destino creada a partir de esta base de datos no es de utilidad aquí.

⁸ Esto puede verse de los atractores que se dieron en las casillas de actividad económica. Estos valores cambiaron año con año sin justificar la razón.

Las proyecciones de crecimiento poblacional de CONAPO mencionadas en el estudio de ETEISA (2004) se hicieron en 1998, cuando aún no había información censal para el 2000. Sin embargo, desde hace dos años era posible tener una idea del crecimiento poblacional observando las tasas de crecimiento poblacional de la ZMVM a partir de información de INEGI (Información sobre población total de Censos 1990, 2000 y Conteos 1995). La siguiente tabla 2 muestra un resumen que se obtuvo de información de INEGI e información que se compiló en los estudios del Anexo I. Información más detallada al respecto se encuentra en la forma de tablas en el apéndice B. Primero observamos de esta tabla que las tasas de crecimiento son muy distintas entre el D.F. y el Estado de México. El Estado de México ha crecido a tasas cada vez menores, pero siempre mayores que el crecimiento poblacional del D.F.

Como ejemplo del procedimiento que se pudo haber seguido para proyectar la población, de esta información se puede obtener una estimación de la tasa promedio de crecimiento poblacional. Por la disparidad en crecimiento entre el EM (40 municipios) y el D.F., una opción es obtener un promedio ponderado de ambas regiones para tener una idea del crecimiento de la ZMVM y utilizarlo como base para proyectar el crecimiento hacia futuro⁹. El promedio ponderado se muestra en la tabla 3.

TABLA 2. Crecimiento Poblacional de la ZMVM por sub-regiones

Distrito Federal			
Año	Población	% anual de crecimiento a cinco años	% de crecimiento a diez años
1990	8235744		
1995	8489007	0.62%	
2000	8605239	0.27%	0.45%
% ZMVM	35.95%		
Estado de México (40 municipios)			
Año	Población	% anual crecimiento a cinco años	% de crecimiento a diez años
1990	7056975		
1995	8480802	4.04%	
2000	9414601	2.20%	3.34%

Fuente: INEGI, tabla 1 de SETRAVI (2002) Anexo I del reporte INE (2005), y cálculos propios mostrados en el Anexo B que acompaña a este documento.

⁹ Nótese que aquí no se toma en cuenta ningún municipio del Estado de Hidalgo porque no se encuentra dentro de la ZMVM. Si la definición de ZMVM cambiara para incluirlo, entonces su tasa de crecimiento poblacional tendría que contabilizarse aquí.

El promedio ponderado del crecimiento poblacional para el período entre los años 1990 y 2000 es de 2.32% y entre 1995 y 2000 es de 1.28%. El supuesto de que la población crece entre 1.4% y 1.3% en esos diez años puede estar sobrestimando lo que en realidad pasaría con la población si es que la tendencia a la baja continuara (si la baja en la tasa de crecimiento continuara a la misma velocidad a la que lo hizo entre 1990 a 1995 y 1995 a 2000, bajaría en un 48.87% a ser 0.71% crecimiento poblacional anual).

TABLA 3. Promedio ponderado de crecimiento poblacional

Distrito Federal	Población	Promedio Ponderado 1990-1995	Promedio Ponderado 1995-2000	Cambio en crecimiento de tasa	Expectativa 2000-2005
% ZMVM 1995	50.02%				
% ZMVM 2000	47.75%				
Estado de México					
% ZMVM 1995	49.98%				
% ZMVM 2000	52.25%	2.32%	1.28%	-44.87%	0.71%

Fuente: Cálculos propios a partir de datos de INEGI de la tabla 2 (cálculos mostrados en el Anexo B que acompaña a este documento).

En cualquier caso, la adopción de una cifra específica se dificulta por la incertidumbre con respecto a lo que sucederá en el futuro. Lo recomendable puede ser correr dos o tres escenarios con diferentes tasas de crecimiento poblacional para crear un rango de incertidumbre para los resultados. Para el nuevo escenario se adoptó una tasa de crecimiento del 1.2% anual promedio, considerándose más realistas que las tasas que se utilizaron en la versión original, y un tanto pesimistas con respecto a la tasa de crecimiento proyectada a futuro¹⁰. Sin embargo, esta elección también fue un tanto arbitraria y se recomienda hacer análisis de sensibilidad creando diferentes escenarios de crecimiento para el futuro en estudios subsecuentes.

El tener datos de población adecuados nos asegura que tendremos estimaciones más precisas de los viajes. Entre mayor sea la población, en general, para una infraestructura dada, mayor será la congestión. Entre menor sea la población, menor será la congestión, pero tal vez esa misma población haga entonces más viajes¹¹.

¹⁰ Es posible que la tasa de cambio de la tasa de crecimiento poblacional no cambie tan drásticamente como el -44.87% que se ha proyectado arriba.

¹¹ Este fenómeno de demanda inducida se verá más adelante.

4.3.2.5 Población total

Al revisar la sección de ingreso de datos de TRANUS donde se encuentran las cifras de población, se hizo aparente que la población se había subestimado en la versión original. Este problema es diferente al que se encontró en el inciso anterior. En ese inciso se habló de tasas de crecimiento anuales, mientras que aquí estamos refiriéndonos a población total inicial. Esto estaba ocasionando que los resultados del modelo no reflejaran los totales de población predichos por los supuestos iniciales para el 2003.

Las razones por las que no estaba incluida la población total pueden ser muchas. Se mencionó antes, por ejemplo, que la zonificación no se documentó adecuadamente. Algunas de las zonas pudieron haberse excluido junto con su población. Otra posibilidad es que los datos de población que se utilizaron originalmente no estaban tan actualizados como los que están disponibles ahora.

En particular, a TRANUS se le dio como información inicial, una población total de 17,956,667 personas en la ZMVM, este es el valor que se muestra en la tabla 4. Sin embargo como puede verse en la tabla 5, la población en 2000 ya era de 18,019,840. Es decir, que ya para el 2000 la población era mayor que la que se estimó para 2003 en TRANUS. En la tabla 5 también se muestra el total de viajes proyectados para el 2003 a una tasa de crecimiento de 1.28%, que es la tasa a la que creció la población de la región entre 1995 y 2000. En el modelo original se subestimó la población total inicial, y por consiguiente el número de viajes totales que hizo esta población.

TABLA 4. Población y empleo supuestos para TRANUS originalmente

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%
Total Empleo	3 118 566	3 364 057	1.5%	3 613 304	1.4%
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%
Total Población	17 956 667	19 249 325	1.4%	20 533 488	1.3%

Fuente: ETEISA (2004)

TABLA 5. Crecimiento Poblacional de la ZMVM por sub-regiones

Distrito Federal			
Año	Población	% anual de crecimiento a cinco años	% de crecimiento a diez años
1990	8235744		
1995	8489007	0.62%	
2000	8605239	0.27%	0.45%
% ZMVM	35.95%		
Estado de México (40 municipios)			
Año	Población	% anual crecimiento a cinco años	% de crecimiento a diez años
1990	7056975		
1995	8480802	4.04%	
2000	9414601	2.20%	3.34%
TOTAL 2000	18019840		
<i>Proyectado 2003</i>	18720696.76	1.28%	

Fuente: INEGI, tabla 1 de SETRAVI, Anexo I de la documentación del modelo original (INE 2005), y cálculos propios (Anexo B que acompaña este estudio).

La calibración que se hizo para la versión original de TRANUS logró explicar sólo el 80% de los viajes totales (INE 2005) para el año inicial del ejercicio. Este resultado se muestra en dicho reporte para los corredores de Insurgentes y Eje 8 únicamente. Para conocer la magnitud exacta del error para toda la ciudad, se tendría que hacer una comparación más detallada que requeriría de mucho tiempo. Esto es así porque tendrían que hacerse comparaciones entre los conteos de línea de SETRAVI (SETRAVI 2003) y los viajes generados en TRANUS en cada una de las vías sobre las que contó SETRAVI. Siendo estas dos vías de mucha importancia para la Ciudad, es factible que el modelo original también esté subestimando el tráfico observado en el resto de las vías. Por consiguiente, para aproximar el número total de viajes que faltan, se supuso que los corredores de Insurgentes y el Eje 8 son representativos de lo que ocurre en el resto de la ciudad y, por consiguiente, del porcentaje de viajes que faltan a nivel ciudad. Dado este supuesto faltan 20% del total de viajes que el modelo original predijo, para tener condiciones en la red que reflejen la realidad del año inicial. El modelo original predijo un total de viajes para el 2002 de 1,1,181,144

viajes¹². Si este total corresponde a 80% de los viajes reales, entonces el modelo debería de estar prediciendo un total cerca de 1,476,430 viajes.

Al incorporar la nueva población, tasa de crecimiento (incremento global) poblacional y de actividad económica, y nuevos coeficientes insumo producto los viajes totales en el año 2003 alcanzaron un total de 1,428,567 (96.75% de los 1,476,430 proyectados). Es decir, al corregir la población total, se han encontrado los viajes que faltaban de explicarse en la versión original del modelo. Es importante notar aquí que actualmente en el modelo original no es posible distinguir los viajes exógenos (que vienen de zonas aledañas a la ZMVM) con precisión. Se supuso que estas zonas aledañas (como lo son Pachuca, Toluca, Querétaro, y Pirámides, por ejemplo) no tienen un impacto significativo sobre los viajes en hora pico. Como hemos logrado explicar todos los viajes que faltaban, este supuesto parece ser realista pero amerita un análisis más detallado en el futuro.

4.3.2.6 Grupos de empleo y crecimiento económico

Otro aspecto que surgió en esta parte del trabajo fue el referente a las proporciones de población en cada grupo de actividad económica: comercio, manufacturas y servicios. Como puede verse en la tabla 6, las proporciones que se supusieron originalmente no coinciden con las del 2000 que se reportaron en Censo de Población de ese año. Esta tabla también se encuentra en el archivo Población (Hoja "Actualización en el Anexo C). En particular, ya para el 2000 los servicios constituían el 52% de las actividades económicas totales. También hay que notar que el total de población empleada se supuso ser de 17.37% en el modelo original. Sin embargo, aquí vemos que, en realidad el total de población empleada fué de casi 40% (37.45%).

TABLA 6. Reparto de actividades económicas en la ZMVM

Sector	Original		INEGI 2000	
	2003	% del total	2000	% del total
Manufactura	871,360	27.94%	1,885,450	26.89%
Comercio	911,064	29.21%	1,422,143	20.29%
Servicios	1,336,142	42.84%	3,703,177	52.82%
Total Empleo	3,118,566	100.00%	7,010,770	100.00%
Estratos Bajos	8,700,986	48.46%	9,129,925	48.77%

¹² Nótese que ahí mismo ya hay un error de definición, ya que los valores para los que se debió comparar los flujos vehiculares son del 2003. Sin embargo, es probable que se supuso que el número total de viajes entre 2002 y 2003 en hora pico no cambió de forma significativa y que, por consiguiente, el total arrojado por TRANUS en 2002 debería ser similar al observado por SETRAVI en 2003.

Estratos Medios	6,306,495	35.12%	6,206,960	33.16%
Estratos Altos	2,949,186	16.42%	3,383,812	18.08%
Total Población	17,956,667	100.00%	18,720,697	100.00%
% Empleo/Población		17.37%		37.45%

Fuente: INE y cálculos propios a partir de información del Censo de Población y Vivienda 2000 (INEGI). Datos sobre empleo en cada sector para el 2000 se encuentran en los archivos de EmpleoDF.xls y EmpleoEM.xls, en el Anexo C. Los detalles del cálculo se encuentran en el archivo Economico2.xls, hoja " en el Anexo C.

El impacto de esto sobre los resultados originales en TRANUS es que se contaron menos personas yendo a trabajar y/o a servicios y comercio. En el modelo original se subestimó el total de población empleada en servicios. Al incluir esta información a manera de corrección en el nuevo escenario estamos incluyendo de manera implícita muchos de los viajes que faltaban. El reporte de ETEISA (2004) consideró los viajes al trabajo o relacionados con este como los más relevantes para la hora pico. De la revisión de la documentación, no quedó claro si no se excluyó, por consiguiente, población que no estaba trabajando, o si sencillamente se utilizaron valores de población menos actualizados. Como ya se mencionó, también es posible que se haya excluido población en las zonas que aparentemente no se incluyeron en la zonificación de ETEISA (2004). En cualquier caso, aunque no son la mayoría de los viajes, en la hora pico también se llevan a cabo otros tipos de viajes. Los viajes de compras, a hospitales y consultas médicas, a hacer trámites y demás, caen bajo la categoría de "servicios". Al corregirla la población y porcentajes de grupos empleados en cada sector, hemos encontrado los viajes que faltaban.

De la misma tabla podemos observar que los porcentajes que se supusieron para cada grupo poblacional (Estratos bajos, medios y altos) son muy similares a aquellos del año 2000. Esta información se corrigió a los nuevos porcentajes pero el efecto es casi nulo. Se supuso que estos porcentajes eran iguales en 2003 a 2000. Sin embargo, para refinar el modelo en el futuro y crear distintos escenarios, sería recomendable experimentar con estas variables. Por ahora, para el nuevo escenario, se supone que los servicios han llegado a su máximo crecimiento posible en la ZMVM y que estos porcentajes incluso se mantienen para el futuro (hasta el 2012).

Es importante señalar a este respecto es que la definición de estratos bajos que se manejó originalmente supuso que este grupo se conforma de personas que ganan entre 1 y 2 salarios mínimos de ingreso. Debido a que hay personas que no ganan salario de su trabajo pero sí hacen viajes, es importante incluirlos en la definición de estratos bajos. Es decir, la población de estratos bajos es aquella que gana entre 0 y 2 salarios mínimos). Por ejemplo, estudiantes universitarios que se encuentren haciendo algún internado o servicio social, voluntarios, y aquellos quienes no reportan ingreso por salario pero tienen ingreso de otra clase (arrendatarios, por ejemplo, y miembros de un mismo hogar quienes comparten responsabilidades en el negocio familiar). Es posible que estas

personas sin salario hayan sido excluidas en el modelo original y que esta sea parte de la razón por la que no se explicaron todos los viajes en el modelo original.

Con respecto a la población, también se supuso que los tres sectores de población crecen a la misma tasa. Es decir, que la repartición del ingreso se mantiene a como se encuentra ahora. Aunque este supuesto es razonable de hacer y se mantiene en el nuevo escenario, se recomienda en el futuro experimentar con tasas de crecimiento distintas para crear escenarios adicionales.

4.3.2.7 Consistencia entre población y transporte

El reporte menciona que: “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, por lo cual se optó por mantener los supuestos de Conapo respecto al crecimiento de la población.” Es decir, es posible que a estos niveles de población, el hecho de que el transporte no sea suficiente puede tener un impacto sobre el crecimiento poblacional mismo. TRANUS no estima el impacto de la actividad económica o de transporte sobre la población. Es posible que la población elija salir de la ZMVM para vivir en una zona menos problemática de llegarse a un punto de saturación.

Aunque no es posible saber cuándo esto pasaría, sí es posible imaginar que esto ocurriría cuando todos los niveles de servicio de la red se encuentren en condiciones muy malas (niveles D, E, F, G, ó H). A este respecto es importante pensar que este resultado depende de los supuestos que se hagan sobre frecuencia y cobertura del transporte público, así como también áreas de uso de suelo vacantes (disponibles). También hay que pensar que una implicación del efecto del transporte sobre la población podría ser que el incrementar la cantidad y eficiencia de transporte público podrá, no sólo inducir viajes, sino también, incrementar a la población (si hay mejores condiciones, se podría incrementar la migración hacia el D.F.). Por ahora TRANUS no tiene capacidad para hacer esto pero es un punto que debe de tenerse en cuenta.

4.3.3 Coeficientes Insumo-Producto

Al corregir los datos de población total, empleo total y porcentaje de comercio, servicios y manufacturas del empleo total, los coeficientes insumo producto dentro de TRANUS cambian también. Esto es así porque la aplicación del modelo insumo-producto en TRANUS es sencilla e incluye sólo estas categorías (en contraste con una lista de industrias completa que podría ser de más de 80 industrias como es el caso del modelo insumo-producto convencional). La

aplicación que se hizo al caso de México fue aún más simple, ya que se supusieron coeficientes similares para todos los grupos de población y también para todos los grupos de empleo. En el futuro, este supuesto debería de revisarse, ya que es muy factible que los grupos tengan diferentes propensidades a consumir y a trabajar. Una posibilidad sería consultar la información en encuestas ingreso-gasto que publica INEGI para identificar algunas de estas diferencias. Sin embargo, por ahora, este supuesto simplificador es razonable.

La tabla 7 muestra el cambio que se dio en los coeficientes insumo-producto a raíz del cambio en datos de población y actividad económica. Las fórmulas utilizadas tanto en TRANUS original como en la corrección son las mismas y el cálculo se puede ver en el archivo CoefsIP.xls del Anexo C. Las ecuaciones que se utilizaron pueden verse en el Apéndice 1 al final de este documento.

TABLA 7. Corrección de coeficientes insumo-producto

TRANUS original						
	Manuf	Com	Serv	Ebajo	Emedio	Ealto
Manuf	1					
Com				0.0507368	0.0507368	0.0507368
Serv				0.0744092	0.0744092	0.0744092
Ebajo	2.79006	2.79006	2.79006			
Emedio	2.022242	2.022242	2.022242			
Ealto	0.9456866	0.9456866	0.9456866			
Correcciones ^{a/}						
	Manuf	Com	Serv	Ebajo	Emedio	Ealto
Manuf	1					
Com				0.0759663	0.0759663	0.0759663
Serv				0.1978119	0.1978119	0.1978119
Ebajo	1.3022714	1.3022714	1.3022714			
Emedio	0.8853464	0.8853464	0.8853464			
Ealto	0.4826591	0.4826591	0.4826591			

Fuente: cálculos propios en CoefsIP.xls, Anexo C, a partir de información de población y empleo de INEGI. a/Suponiendo que porcentajes de empleo del 2000 se aplican al 2003 y en adelante.

4.4 SUPUESTOS SOBRE TRANSPORTE

4.4.1 Reparto modal

Un aspecto de mucha utilidad en la modelación de transporte es el conocimiento del total de viajes y el porcentaje de viajes que se efectúan en cada modo de transporte. En el modelo de repartición modal, no se documentó la opción que se utilizó. Después de revisar la base de datos en TRANUS parece que en vez

de utilizar un modelo completo, se utilizó la opción de penalización. De la base de datos se observa que la constante específica a la alternativa en los tres modos es zero. Entonces, la decisión de cuál modo utilizar radica en el factor de penalización llamado constante modal. Esta cifra representa aspectos subjetivos como comodidad, seguridad y confiabilidad del modo de transporte en cuestión. Se da un valor de 1 al mejor modo y un valor mayor a 1 a los modos que tienen menos cualidades.

Este valor es un tanto subjetivo para el usuario. Lo que importa en su asignación es que el orden de preferencias sea consistente (es decir, que modos más cómodos y seguros tengan valores menores a modos menos cómodos e inseguros). El problema que se encuentra al revisar la base de datos es que los autos, los autobuses, el artibus, y los colectivos tienen todos la misma constante modal=1. Esto es muy poco realista y explica por qué la repartición modal que se reportó del modelo inicial fue poco favorable hacia el transporte público. El auto siempre es el modo que se percibe como el mejor. El metrobús, aunque nuevo, cómodo y seguro padece de la falta de flexibilidad que tiene el auto. El metro es confiable pero no es percibido como seguro y en horas pico puede ser extremadamente incómodo. Finalmente, el colectivo es un modo flexible (para casi donde el usuario quiere) pero incómodo.

La siguiente tabla (tabla 8) muestra una comparación entre los promedios de porcentajes de viajes hechos en cada modo de transporte con el total arrojado por la versión original de TRANUS. Los detalles pueden verse en la hoja "Comparación" del archivo Modos.xls, Anexo D. Puede verse que el reparto modal en TRANUS es casi lo opuesto a lo que observó SETRAVI. De hecho, el reparto modal observado en TRANUS es más acorde con el que se observó en 1994 en la Encuesta Origen-Destino. Este cambio radical es alarmante debido a que implica que el transporte público ha perdido terreno considerable frente al auto. En este sentido, la construcción de corredores es un esfuerzo importante en el intento de re-capturar algunos viajes para que vuelvan a realizarse en transporte público, eliminando autos de la red vial.

TABLA 8. Comparación de repartos modales

	Autos privados	Transporte público	Carga	Total
TRANUS VERSION ORIGINAL				
TOTAL	308433	869893	2818	1181144
%	26.11%	73.65%	0.24%	100.00%
Conteos SETRAVI 2003				
TOTAL	2255309	588211	176016	3019536
%	74.69%	19.48%	5.83%	100.00%

Fuente: TRANUS-México, versión original y cálculos propios basados en conteos de SETRAVI 2003 (archivo "Conteos2003.xls" basado en el archivo "ANALISIS CRUZADO DE CORREDORES HOMOGENEOS" que se obtuvo del Disco 2, Carpeta "Corredores Estratégicos".
Nota: SETRAVI clasificó a los taxis como transporte público. En TRANUS los taxis no se

consideraron de forma explícita, por lo que entendemos que en TRANUS transporte privado se refiere a autos particulares. Por consiguiente la categoría vehicular "A" de SETRAVI corresponde a la categoría "Privado" en TRANUS.

En esta sección se muestra el resultado de re-establecer el orden de jerarquías de los modos para observar qué pasa con la repartición modal. Para averiguar cuáles constantes modales serían más realistas se alteraron en una serie de experimentos para intentar re-calibrar el modelo y hacerlo reflejar el reparto modal inicial. En particular, se le fueron dando valores más distintos cada vez a la constante modal del transporte público para distinguirlo del transporte privado. Esto se hizo para el año inicial (que hemos redefinido aquí como ser el 2003). Para cada cambio se corrió TRANUS para el 2003 hasta encontrar un reparto modal que reflejara lo más cercanamente posible al reparto que se observó en los conteos de línea de SETRAVI (2003).

Es importante notar que el ejercicio descrito en esta sección tiene que ver únicamente con el resultado obtenido de modificar al constante modal sin tomar en cuenta las otras correcciones al modelo que se hicieron. Esto se hizo para poder entender el impacto aislado de la constante modal sobre los resultados iniciales. Como se verá más adelante en la sección de re-calibración, al incorporar todas las demás correcciones al modelo, fue necesario cambiar la constante modal de nuevo.

De nuevo y al igual que en el caso de la población, es importante mencionar que este ejercicio implica un poco de incertidumbre, ya que no tenemos la certidumbre de que el reparto modal reflejado en los corredores observados por SETRAVI (2003) refleje el reparto de la ciudad entera, aunque este supuesto se hace dada la cantidad de información disponible. Una comparación entre corredores, utilizando el nuevo reparto modal sería recomendable, pero rebasa los alcances de este estudio. Otra opción sería comparar la información con la que se obtuvo de la Encuesta Origen-Destino 2003¹³.

Dentro del transporte público se hizo una variación muy sutil entre los operadores. Por ejemplo, se dio un valor de 0.1 más al metro por considerarse menos flexible que un colectivo. A su vez el Artibus se consideró el mejor modo por ser rápido y por tener una cobertura importante. Otro ejercicio a futuro sería distinguir aún más los viajes de transporte público alterando las constantes modales de los mismos para hacer una diferenciación más pronunciada. Sin embargo, para ello también se requerirá de información de conteos de línea detallada sobre dichos modos. Esta información no se encuentra disponible actualmente.

¹³ Como se mencionó antes, no hay un documento metodológico acompañando a la base de datos de la Encuesta Origen-Destino 2003 por lo que no se puede comentar sobre su representatividad.

La tabla 9 muestra los experimentos que se fueron haciendo a la constante modal para alterar el reparto modal. Esto se logró cambiando la constante modal para los modos de transporte público en el año original y corriendo el software de nuevo para observar el resultado del cambio. La primera columna muestra la repartición modal del modelo original. La segunda muestra la meta (el reparto que se quiere obtener) y se tomó de los conteos de línea mostrados en la tabla 8. A partir de la tercera columna, cada columna representa un experimento. Para cada experimento se muestran los valores que se le dieron a las constantes modales de cada modo y en los renglones de abajo se muestra el resultado que se obtuvo de correr TRANUS con esos valores. Los valores de constante modal se cambiaron para cada experimento. El último experimento mostró constantes modales que explican el reparto modal observado en 2003 (y que se muestra en la tabla 8). La tabla 9 también se encuentra en la hoja "Experimentación" del archivo Modos.xls, Anexo D.

Es importante notar aquí que para obtener el reparto modal final, no se dio casi una distinción entre los modos de transporte público. Aquí hemos impuesto los valores tomando en cuenta la comodidad y flexibilidad de los modos¹⁴, pero suponiendo que la diferencia percibida entre ellos es muy pequeña comparada con la percepción de los usuarios entre el auto y el transporte público. Es posible que combinaciones distintas de constantes modales diferentes nos den resultados similares. Por eso se recomienda experimentar más con esta variable a futuro.

Se puede interpretar del resultado del ejercicio lo siguiente: si este reparto es cierto, refleja el hecho de que las personas consideran al transporte público hasta 8 veces más molesto que al auto. Esto, si no consideramos otros factores. Se verá más adelante que el alterar las elasticidades de demanda de viajes y los flujos de carga también tiene un impacto en el total de viajes y reparto modal. Por consiguiente, es necesario modificar las constantes modales de nuevo para recalibrar el modelo del año inicial, una vez incorporados todos los cambios que se hicieron para el escenario nuevo. Los resultados de este proceso se verán más adelante.

Un aspecto importante que se debe de mencionar aquí es que los taxis no han sido considerados de manera explícita en TRANUS. En los conteos de línea se vio que los taxis se consideraron como una forma de transporte público. Sin embargo, en TRANUS no hay una categoría de taxis. Una opción es considerarlos como sustitutos del transporte privado. Otra opción es su modelación explícita como modo separado con información de los conteos de línea. También en conteos futuros idealmente se observaría no sólo su número, sino también la proporción de taxis que viajan sin pasajeros. Por ahora es importante estar conscientes de que probablemente se esté sobrestimando su

¹⁴ No hemos considerado el efecto de las tarifas en esta diferencia porque la diferencia entre tarifas impacta las demandas de viajes de manera separada en TRANUS.

impacto, ya que otros modos de transporte público toman el lugar de los taxis en nuestra versión de TRANUS. Es posible que la sobre estimación que se hace por considerar que un colectivo, por ejemplo, toma el lugar de un taxi, se compense por el hecho de que muchos de los vehículos de taxi andan circulando en vacío.

Al concluir este ejercicio para el año inicial, se hizo evidente un punto importante. Metrobús debe de distinguirse de manera sustancial de los demás modos de transporte público para poder tener éxito capturando muchos viajes, sobre todo de personas que habrían, de lo contrario, optado por los autos. Por consiguiente, como se verá más adelante, en la modelación de corredores se supuso que el nuevo escenario con corredores sería un tanto optimista en este sentido. Se supuso que la constante modal del Metrobús sería igual a 2.

4.4.2 Red vial

La red vial de la ZMVM se ha ido trabajando por diferentes instituciones (UNAM y SETRAVI 2002, Torres Consultores 1997, Infocom 1999 e Infocom 2000). Una revisión de los documentos relevantes sugiere que la labor fue ardua y que en cada paso había algo de información que faltaba. Esta labor incluyó una clasificación de vías (carreteras, primarias, secundarias, rampas y demás) que parece muy razonable. También se especificó información sobre nodos y enlaces, así como características de las rutas que utilizan cada enlace. Aparentemente se empleó la versión de la red que actualizó la UNAM (2002) que parece la mejor versión (porque su revisión fue bastante buena). Con ayuda de información de la EOD 2003 se completó y actualizó la información relevante sobre rutas. En general el esfuerzo fue muy comprehensivo.

Un aspecto que no quedó claro fue el de la pérdida en resolución o precisión geográfica al cambiar de un software a otro. Este punto no se mencionó en el reporte de ETEISA. Entonces no es posible saber si este tipo de problema se solucionó finalmente. Si la geografía de la red estuviera distorcionada, esto tendría un impacto sobre la precisión de la medición de distancias. Es posible corregir esto revisando la red vial junto con un buen mapa de la ZMVM. Desafortunadamente, como se menciona en UNAM y en SETRAVI 2002, el mapa también estaba distorcionado. Lo que resta es obtener un mejor producto de INEGI para trazar el mapa de zonas y la red vial¹⁵. Sencillamente esta es la única información que se tiene para trabajar ahorita.

¹⁵ INEGI publicó una base de datos llamada URBANA2000 que es muy costosa pero resolvería muchos de los problemas que se tuvieron con cartografía y red vial.

TABLA 9. Impacto de la constante modal sobre el porcentaje de viajes realizados por modo de transporte

CONSTANTE MODAL POR MODO Y OPERADOR				Número de experimento:									
Modo y operador	Siglas	ORIGINAL	META	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Transporte Privado:													
Autos particulares	Auto	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Peatón	Peatón	1.6		1.6	1.6	2.1	3	5	6	7	8	8.5	9
Transporte Público:													
Autobús del D. F. (RTP)	BusDF	1		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Metro neumático	Metro	0.95		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Tren ligero	Tliger	1		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Combi	Combi	1		1.1	1.3	1.8	2.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.2	8.7
Autobús del Edo. de México	BusEdo	1		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Metro férreo (Línea A)	MetroFerr	1		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Trolebús	Trolebus	1.1		1.2	1.4	1.9	2.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.3	8.8
Colectivo (Microbús)	Colect	1		1.1	1.3	1.8	2.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.2	8.7
Autobús articulado circ. fuera de corredores de transporte.	Artic	1.1		1.1	1.3	1.8	2.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.2	8.7
Alim. troncal de autobús	Alibus	1		1.1	1.3	1.8	2.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.2	8.7
Alim. troncal de minibús	Alimini	1		1.1	1.3	1.8	2.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.2	8.7
Metrobús normal	ArtibusN	1		1.05	1.2	1.7	2.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.1	8.6
Metrobús expreso	ArtibusX	1		1.05	1.2	1.7	2.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.1	8.6
Integrado en estación	Integrado	1.6		1.6	1.6	2.1	3	5	6	7	8	8.5	9
Carga:													
Carga	CARGA	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
REPARTO (% viajes totales):													
Transporte Privado	Privado	26.11%	74.69%	28.77%	31.46%	39.63%	48.76%	62.05%	65.70%	69.21%	72.15%	73.44%	74.50%
Transporte Público	Público	73.65%	19.48%	70.98%	68.28%	60.10%	50.94%	37.63%	33.97%	30.38%	27.52%	26.22%	25.16%
Carga	Carga	0.24%	5.83%	0.24%	0.24%	0.26%	0.28%	0.30%	0.31%	0.32%	0.32%	0.33%	0.33%
Total	Total	100.00%	100.00%	99.99%	99.98%	99.99%	99.98%	99.98%	99.98%	99.91%	99.99%	99.99%	99.99%

El aspecto más saliente sobre el uso de la red vial en TRANUS, es que no se ocupó la red en su totalidad (toda la red primaria y secundaria), sino red primaria y algunas partes de la red secundaria. El problema fue que esta red se heredó de una red que se construyó para la ZMVM en EMME2, cuyas licencias cuestan más, a medida que la red a modelar es mayor. Es imposible tener buenas estimaciones de tráfico para la ZMVM si no se acepta que la ciudad es un sistema tal que cuando una calle se congestiona, esto puede impactar el tráfico en calles que se localizan más lejos. Vale la pena invertir recursos en estudiar los problemas de la ZMVM porque a largo plazo se gasta más en remedios de corto plazo y en la elaboración de “parches” (supuestos) a la información existente.

La consecuencia de dejar fuera partes de la red es que se puede subestimar o sobreestimar el tráfico y su localización geográfica. Entre más calles existen en la red vial, más rutas potenciales hay para los usuarios. Si se modelan menos calles se deja fuera el alivio que dichas calles pueden dar a la red de vías primarias. A su vez, de haber algunos enlaces en la red que, aunque pequeños, resulten de importancia para muchos usuarios, el congestionamiento de dicha calle se pasa por alto si no se incluye en la red.

En teoría, incorporar lo que falta de información se llevaría semanas. No sólo es necesario reincorporar una red a TRANUS sino que además, es necesario incorporar a TRANUS información sobre las características de las nuevas vías, rutas de transporte público y demás.

Se hizo mención de que la red vial se actualizó para incorporar el segundo piso, infraestructura nueva que ha sido agregada a la red. No se menciona si además se incluyeron otros trabajos de infraestructura menores como por ejemplo el puente de Tecamachalco. Este tipo de mejoras podrían tener un impacto sobre el número y ruta de los viajes del Sur hacia allá, debido a que antes dichos viajes tenían que ir por vía del Norte de la Ciudad. Esto se puede verificar durante la revisión de la red secundaria. No es posible observar los cambios directamente en TRANUS, ya que la red aparece sin trasfondo geográfico (mapa de áreas) dificultando la identificación de las calles de una en una por su tardanza. Sin embargo, cualquier ausencia de vías en la red vial es un problema tanto del escenario base como del escenario con corredores por lo que el problema no debe tener un impacto significativo al comparar los resultados de ambos escenarios.

TRANUS requiere de una serie de valores adicionales para poder correr (valor del tiempo de viaje, valor del tiempo de espera, porcentaje de disponibilidad vehicular, tasa mínima de generación de viajes, tasa máxima de generación de viajes, elasticidad de la demanda). Los valores asignados a cada una de estas variables se estimaron con información de la EOD 2003 realizada por ETEISA 2003. Son razonables ya que parten de mediciones hechas específicamente

para la ZMVM. Lo que es importante recalcar es que dichos valores se asumieron constantes para todo el periodo de estudio, dado que no se dispone de metodología alguna para proyectarlos en el tiempo. Esto es razonable a falta de más información sobre el futuro. De nuevo, un análisis de sensibilidad sería recomendable para modelar futuros alternativos posibles.

Al igual que el caso del componente de actividades, hay una serie de coeficientes necesarios, tales como factor de convergencia o número de iteraciones y un factor “smoothing” que controla la convergencia del modelo. Estos son razonables, cumpliendo su función de que el modelo logre convergencia y no algún tipo de trayectoria explosiva sin solución.

4.4.3 Administradores, operadores y rutas

La clasificación de operadores en: Gobierno del Distrito Federal, Concesionario Cuota y Metro es incompleta porque no se incluye el gobierno del EM. Sin embargo, este estado tiene a su cargo tanto rutas en el EM de transporte público como vías más pequeñas y ocupa una gran parte del área de la ZMVM. Valdría la pena aclarar este punto, aunque en general, esto no altera los resultados sobre la red sino quién es responsable de pérdidas y ganancias de ciertos operadores. Es una cuestión de clasificación.

Además de la constante modal, hay otra información adicional relevante para TRANUS en cuanto a operadores que pareció razonable: tasa de ocupación, factor de tiempo, tiempo de espera fijado, tarifa por distancia, tarifa por tiempo. Esto, siempre y cuando la información sobre la red esté correcta. Con respecto a la flexibilidad de alterar el horario (target occupancy), no quedó del todo claro el por qué se utilizó un solo valor (60%) para todos los modos de transporte. Por ejemplo, alterar el horario del metro es más difícil que alterar el horario de un autobús o colectivo porque el metro va sobre vías y tiene trenes adelante y atrás, mientras que varios camiones o colectivos pueden agregarse a una ruta si hace falta. Valdría la pena hacer un análisis alterando este valor para ver su impacto en escenarios futuros. Por ahora se toma como dado.

En cuanto a rutas, de la revisión que se hizo para este estudio, la información parece razonable. Un detalle importante es que no se listaron de manera explícita las rutas que se desconectaron de la red por el hecho de ser suplantadas por Metrobús. Esta información es importante que se documente en versiones futuras para evitar confusiones con rutas que muestren errores en conectividad y que requieran de ser reparados.

No hay mención del transporte colectivo irregular y el no incluirlo subestima la congestión vehicular ni parece haber mención sobre mediciones de campo en ninguno de los anexos. Con variar la constante modal hemos tomado en cuenta ese transporte, ya que, como se vio en la sección correspondiente, la constante

modal se alteró para reflejar conteos de vehículos que SETRAVI (2003) observó en la realidad. Sin embargo, no tenemos la certeza de que la información de rutas que contiene el modelo sea la correcta (es posible que hayan rutas adicionales de transporte informal o bien, que algunas de las rutas tengan frecuencias mayores a las que se les dieron inicialmente). Dada la falta de información sobre transporte irregular, por ahora, tomamos la información de rutas como dada. Es posible que el variar los rangos de frecuencia implícitamente capture por lo menos los vehículos informales que no estén registrados en algunas rutas de manera explícita.

Para cada ruta de transporte público (definida) se obtuvo información sobre las siguientes variables: frecuencia mínima y máxima de paso de operador, por tipo y por unidad de tiempo (usualmente una hora), en la ruta; tasa de ocupación (% de ocupación de un operador); y 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.), de encuestas OD 1994 y 2003. Los valores que se dieron parecieron razonables a excepción de los rangos de frecuencias. Se recomienda incrementar dichos rangos para que la oferta tenga mayor flexibilidad de ajuste a incrementos en la demanda. Esto implicaría incorporar la información de frecuencias por la ventanilla correspondiente en TRANUS, de las más de 500 rutas que tiene la ZMVM. Otra opción es incorporarlas dentro del archivo de rutas y re-importar este a TRANUS. En general, para estas variables, una vez que se corre el modelo se puede apreciar si una política de transporte que altere alguna de estas variables puede mejorar el sistema.

4.4.4 Tarifas

La tarifa del transporte público se supuso quedaría igual para todo el período de estudio. Este supuesto equivale a decir que el valor real de cada viaje se mantiene fijo en el tiempo. Asumir una tarifa fija a lo largo del tiempo es un supuesto inicial razonable para un escenario moderado. Sin embargo, hay que notar que mientras se mantenga fija esta tarifa se puede crear un exceso de demanda por transporte público (hay mucha gente que lo quiere ocupar porque es barato, pero la tarifa no permite recavar suficientes fondos para mejorar o incrementar el servicio). El impacto es que el transporte público se vuelve menos eficiente a lo largo del tiempo causando que el costo subjetivo (constante modal) cambie. El impacto de este supuesto no se mencionó en el estudio. Como ya se mencionó, en el futuro podría correrse algún escenario con cambios en tarifas, si es que se observa que la tarifa fija causa problemas.

Con respecto al factor de tarifa por categoría, este se usa para representar las tarifas reducidas que pagan categorías tales como estudiantes o jubilados. Hay cifras que se incluyen en TRANUS pero no se menciona con base en qué supuesto se utilizan dichas cifras ni se menciona una fuente de donde se

obtuvieron. Es razonable que, por ejemplo, para autos, claramente las personas de menores ingresos tienen valores más altos porque los autos implican mayor gasto con respecto al ingreso, pero no se explica de dónde salen las proporciones que se muestran. Por ahora se toman como dadas. Análisis futuros pueden ayudar a esclarecer la incertidumbre sobre esta información.

4.4.5 Variables de pasos

Se encontró que los pasos podrían estar restringiendo el número de rutas posibles para cada viaje, dado el tamaño de la ZMVM. Al incrementarse el número de pasos se corre el peligro de que el tiempo que tarda TRANUS en correr se multiplique. Por otra parte la Ciudad de México es tan grande que no parece factible que las personas tengan solamente 2 o tres rutas posibles para llegar a sus destinos.

Por esta razón, para el escenario nuevo, los pasos se ajustaron para permitir al modelo encontrar más rutas para los viajes. El ajuste no fue muy grande y el impacto fue despreciable cuando se tomó en conjunto con las demás correcciones. Los cambios que se hicieron se listan a continuación en la tabla 10. En este caso se supuso que todos los modos tienen el mismo número de opciones de rutas. Se incrementó el máximo número de pasos a 5 y el factor de sobreposición de pasos se incrementó en 1 para cada modo.

TABLA 10. Cambios en variables de pasos

		Original	Nuevo
Privado	Factor de sobreposición de pasos	2	3
	Número máximo de pasos	3	5
Público	Factor de sobreposición de pasos	2	3
	Número máximo de pasos	4	5
Carga	Factor de sobreposición de pasos	2	3
	Número máximo de pasos	3	5

Se incrementaron los pasos muy poco, para que el software no tardara demasiado en convergir en cada corrida. En el futuro sería interesante experimentar con esta variable, pero por ahora los valores nuevos parecen razonables.

4.4.6 Costos operativos y de energía

4.4.6.1 Costo de utilización de combustible

Con respecto a los costos operativos y consumo de energía, estos se ingresan por separado en TRANUS. Los costos de consumo de energía son la cantidad de combustible que se utiliza. Estos incluyen: consumo mínimo y máximo de energía (en litros), precio del combustible y elasticidad (o cambio en la pendiente de la función de demanda de combustible).

La metodología empleada para calcular el consumo de energía en el modelo original fue utilizar una especificación de ecuación como las de estimación de demanda. Es decir, se estima la demanda por combustible, en este caso utilizando la misma función que para las demandas en la sección de actividades. El suponer esta función es razonable. No fue posible verificar la procedencia del parámetro de elasticidad que se utiliza en dicho cálculo (que se menciona en el Cuadro 11 del reporte de INE). El archivo mencionado no aparece entre la documentación que se envió. Este parámetro es importante, ya que determina la forma como se altera el uso de combustible al cambiar el costo. Sin embargo, parece razonable.

Se notó que el metro neumático tiene cero costo asignado en el modelo original. Sin embargo, siempre hay una fuente de energía y cuesta: si es electricidad, esto le cuesta a la ciudad. Este debe de contarse aunque se utilice una fuente más limpia de combustible, porque si no se sesga el análisis económico a favor del modo que aparece menos costoso. Además, es importante considerar que, aunque las emisiones de dichos vehículos no se generan en la ciudad, sí se generan en otras localidades (donde se encuentran las plantas generadoras). Esto implica que tienen emisiones que también deben de contabilizarse a escala global.

Para vehículos eléctricos se calculó un precio implícito para uso futuro (suponiendo que metro y tren ligero tienen el mismo precio, ya que sin datos sobre uso de energía no se pueden calcular para tren ligero). Este se encuentra en el archivo Costoperac.xls, hoja "precio implícito" del Anexo D. Sin embargo, falta información sobre consumo mínimo y máximo de energía y sobre la pendiente de la curva de uso de energía eléctrica. En un futuro, una inversión de algunos días en investigar estos datos que faltan podría ayudar a mejorar este aspecto del modelo.

También es importante señalar que el uso de energía de los vehículos varía con las condiciones del pavimento. Este aspecto no se distingue dentro de TRANUS. Es decir, en TRANUS no es posible ingresar diferentes costos energéticos por tipo de vía. En vez se ingresa el precio del combustible por unidad de energía (litros de gasolina o diesel, kilowats). El modelo determina el

uso de litros dependiendo de la función de demanda que se le especifica (por vía de las elasticidades de demanda de uso energético).

Por falta de más información se conservaron los costos de combustible¹⁶ como se recibieron en el modelo original, para correr el nuevo escenario. Sin embargo, sería prudente hacer una investigación más profunda en el futuro. En teoría, este aspecto no debe de impactar los resultados de manera sustancial en el sentido de que impactan por igual al escenario base que al escenario con corredores.

4.4.6.2 Costos operativos (por distancia recorrida)

Los costos operativos son aquellos tales como: reparación de vehículos, manutención de limpieza, cambios de refacciones, seguro¹⁷. Los demás costos operativos se ingresan a tranus en unidades de pesos por vehículos-kilómetro. En general, estos costos dependen de las condiciones del pavimento. Un pavimento suave casi no daña a los vehículos por lo que los costos de operación son menores que para el caso de un pavimento con depresiones frecuentes que dañan el vehículo. Para ninguno de estos, excepto transporte de carga, hay una fuente o justificación en la versión original de TRANUS (INE 2005 y ETEISA 2004). Se hizo un análisis detallado de este tipo de costo en el Cuadro 4 del reporte INE para transporte de carga, pero no así para los demás modos.

Para esclarecer el punto con un poco más de detalle se hizo un análisis de dichos costos. Se encontró que la fuente mencionada en el reporte de INE de SCT-IMT 2004 en realidad no se utilizó. La fuente que se utilizó para el cálculo de costos operativos de transporte de carga fue SCT-IMT 2002. Ese estudio, obtuvo los costos operativos para vehículos ligeros, autobuses y diferentes tipos de vehículos de carga, y bajo diferentes condiciones de pavimentación (medido en IIR's o índices internacionales de Regularidad o Rugosidad). Dichos costos se reportaron en pesos por vehículo-kilómetro, a precios del 2002.

El análisis de costos en ese reporte fue muy completo e incluyó depreciación, mantenimiento y reparación, consumo de combustible y algunos otros. Los impuestos (como podrían considerarse los pagos por tenencia) no se consideraron por ser transferencias netas de recursos¹⁸.

¹⁶ En TRANUS se asume como cierto que a velocidades de 90 km/hr y mayores el rendimiento de combustible es óptimo, lo cual contraviene los resultados de mediciones de laboratorio, que a más de 90 km/hr, el rendimiento del combustible en los vehículos tiende a disminuir. Sin embargo, esto no se considera problemático porque en la ZMVM los vehículos nunca circulan a más de 80 km/h. Esto es razonable siempre y cuando no se intente posteriormente modelar una hora no pico con el mismo modelo.

¹⁷ Como se mencionó arriba, en TRANUS estos costos se ingresan aparte de los costos operativos por uso de combustible.

¹⁸ Se consideran transferencias netas de recursos a los impuestos porque son recursos monetarios que los particulares le dan al gobierno quien a su vez los utiliza para proveer bienes y

El suponer condiciones buenas de pavimentación (IIR=2 o menor) en toda la ciudad tal vez no sea realista. Sin embargo, esto fue lo que se hizo en el modelo original. Por ello, para el escenario nuevo, se hizo un cálculo nuevo de costos monetarios utilizando la metodología de SCT-IMT 2002 y considerando que las vías de la Ciudad de México varían en IIR y son rectas en su mayoría. Las carreteras se supusieron tener un IIR=2, las vías primarias, por ejemplo, un IIR=4 y las vías secundarias un IIR=6. Un IIR de 2 se le aplica a pavimentos nuevos, un IIR de 4 se aplica a pavimentos con imperfecciones de la superficie y un IIR de 6 o más es para pavimentos con depresiones menores frecuentes (“baches”)¹⁹.

Los cálculos que se hicieron para costos operativos para el escenario nuevo se encuentran en el archivo Costoperac.xls en el Anexo D. Una descripción de las ecuaciones que se utilizaron se encuentra en el Apéndice 2 al final de este documento. En la hoja “Comparación” se observa que para el modelo original se utilizaron las categorías de vehículos de dos ejes y tractocamión mezcladas (promedio ponderado) para obtener el costo operativo de transporte de carga de 3.22²⁰. Sin embargo, el transporte de carga incluye otras tres categorías de vehículos (tres, cinco y seis ejes). Por consiguiente, se reconstruyó el promedio ponderado incorporando estas categorías para que el costo operativo resultante reflejara mejor a los vehículos utilizados en carga. Los porcentajes utilizados (porcentaje de vehículos de cada tipo con respecto al total de vehículos de carga) se tomaron de los conteos vehiculares de SETRAVI (2003) de los archivos Modos.xls y Conteos2003.xls que se encuentran en el Anexo D.

Con respecto a los demás modos de transporte, se observó también que en el modelo inicial, los valores de costos operativos en las casillas eran diferentes a los valores del cuadro 6 del reporte INE (2005). Por esta razón se calcularon nuevos costos operativos (utilizando la misma metodología descrita en SCT-IMT 2002 y detallada en el apéndice 2) para estos otros modos de transporte y se ingresaron los nuevos valores al modelo.

Nótese que se están utilizando valores del 2002 para el año inicial que hemos declarado en secciones anteriores es ahora el 2003. Aquí suponemos que de un año al siguiente los costos no han cambiado de forma significativa. En otras palabras, que los costos operativos reales no cambian de manera sustancial

servicios públicos (alumbrado público, pavimentación, operación de semáforos) a la población. De lo contrario la población tendría que proveerse de estos bienes y servicios públicos por sí misma.

¹⁹ En realidad es posible que el nuevo supuesto no se aplique del todo. Por ejemplo, algunas vías primarias podrían tener peores condiciones superficiales que otras vías primarias. Para saber exactamente cuáles vías tienen peores condiciones se tendría que hacer un estudio detallado de las mismas y aún así sería difícil incorporar esta información a TRANUS vía por vía porque ese nivel de distinción no es posible en el software. Sin embargo, se considera que es más realista hacer este supuesto.

²⁰ En realidad debería de haber sido 3.25 porque hubo un error en el cálculo en el modelo inicial.

entre el 2002 y el 2003. También se supone esto mismo para el resto del período de estudio, un aspecto que deberá revisarse en escenarios futuros.

Para refinar estas cifras se tendrían que buscar los índices de precios para cada rubro de costos operativos y aplicar la inflación a los mismos²¹. Sin embargo, se consideró que el aplicar dichos índices tan agregados podría distorsionar peor los costos que si se suponía que no habían cambiado. Esto es así porque los índices por lo general son promedios ponderados de varios rubros (no sólo de un artículo específico). Incluyen muchos otros bienes y servicios cuyos precios han cambiado creando una distorsión innecesaria en los costos operativos que nos interesan.

Como no se ingresaron valores de costos operativos para vehículos eléctricos (metro, trolebús, metro férreo y tren ligero) en el modelo original, para el escenario nuevo se ingresaron valores nuevos. Se hizo una labor de búsqueda y se obtuvieron archivos sobre costos operativos para metro, trolebús y tren ligero. El archivo AnEstDFCyT2002.xls contiene información sobre costos operativos²² para vehículos eléctricos. Esta información se trabajó en el archivo Costoperac.xls, hoja “Eléctrico”. Estos archivos se encuentran en el Anexo D. Acorde con el requerimiento de datos de TRANUS se separó el costo por utilización de combustible para obtener el costo operativo por distancia. Nótese que en el caso de vehículos eléctricos no fue necesario separar los costos de acuerdo a las condiciones de las vías porque se supone que el costo implícitamente refleja las condiciones de las mismas (que desconocemos).

La tabla 11 muestra los nuevos costos operativos y cómo se aplicaron en TRANUS. Estos se pueden encontrar también en la hoja “Nuevo” del archivo Costoperac.xls (Anexo D). Los modos se agruparon de acuerdo a semejanza de los vehículos para asignarles costos operativos por falta de información adicional. Los autos, combis y colectivos todos comparten los mismos costos operativos. Similarmente el metro y metro férreo se suponen similares, tren ligero y trolebús se suponen similares (ver Apéndice 2 para su cálculo), y el Autobús del Distrito Federal (BusDF), autobús de Estado de México (BusEdo), alimentador de autobús (Alibus), autobús articulado (Artic), Metrobús expreso (ArtibusX), metrobús normal (ArtibusN), autobuses alimentadores de corredores (Alimini) y autobuses integrados se suponen similares.

El transporte de carga, como ya se vio es un compuesto de los diferentes tipos de vehículo y es una categoría única como se supuso en el modelo original.

²¹ Índices de precios para rubros más agregados se pueden encontrar en la página de red del Banco de México (www.banxico.gob). El Banco de México debe de tener publicaciones en papel con la información detallada.

²² También se incluye en este Anexo un archivo AnEstDFCyT2005 que podría utilizarse de la misma forma en que se utilizó el archivo para el 2002 para calcular costos operativos a partir del 2005 y refinar aún más el modelo. También se incluye otro archivo llamado CaracsMetroINEGI.xls cuyas cifras no corresponden con las de AntEstDFCyT2002 probablemente porque se encuentren en diferentes unidades.

Valdría la pena en el futuro rectificar esta agrupación porque es factible que haya diferencias, por ejemplo, entre autos y colectivos. Esta clasificación puede estar sobrestimando los costos para algunas de las categorías, como por ejemplo los colectivos y los camiones articulados.

TABLA 11. Nuevos costos operativos (pesos por vehículo-kilómetro)

Modo (operador)	Sigla	IIR=2	IIR=4	IIR=6
Autos particulares	Auto	1.54	1.63	1.75
Peatón	Peatón			
Autobús del D. F. (RTP)	BusDF	5.78	6.1	6.43
Metro neumático	Metro	0.04	0.04	0.04
Tren ligero	Tliger	0.034	0.034	0.034
Combi	Combi	1.54	1.63	1.75
Autobús del Edo. de México	BusEdo	5.78	6.1	6.43
Metro férreo (Línea A)	MetroFerr	0.04	0.04	0.04
Trolebús	Trolebus	5.78	6.1	6.43
Colectivo (Microbús)	Colect	0.034	0.034	0.034
Autobús articulado circ. fuera de corredores de transporte.	Artic	1.54	1.63	1.75
Alim. troncal de autobús	Alibus	5.78	6.1	6.43
Alim. troncal de minibús	Alimini	5.78	6.1	6.43
Metrobús normal	ArtibusN	5.78	6.1	6.43
Metrobús expreso	ArtibusX	5.78	6.1	6.43
Carga	Carga	3.75	4.25	4.76

Fuente: IMT-SCT (2002) y cálculos propios. Nota: Estos costos operativos no incluyen el uso de combustible. La metodología de IMT-SCT (2002) los incluye, pero TRANUS requiere que se ingresen por separado. Los costos en esta tabla incluyen: costos por lubricantes, refacciones de llantas, tiempo del operador, mantenimiento, depreciación y costos indirectos. Para mayores detalles se puede consultar el reporte IMT-SCT (2002).

4.4.7 Flujos de transporte de carga

El transporte de carga se considera exógeno. Sin embargo, no se hizo ninguna relación explícita entre el transporte de carga y los supuestos de crecimiento económico y poblacional del modelo. En vez, se supuso que crecían como proporción del Producto Interno Bruto (PIB). Específicamente, 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 (PIB). Esto, suponiendo que en el periodo 2013-2020 se mantendría constante el crecimiento del PIB en una tasa de 5%.

Tampoco se relacionó el crecimiento del PIB con el crecimiento de sectores económicos y el empleo, sino solamente con el crecimiento poblacional. Sin embargo el transporte de carga debe de reflejar o ser compatible con el crecimiento en empleos, ya que estos reflejan el crecimiento en demanda de bienes y servicios que, a su vez, demandan transporte.

Una opción para establecer consistencia entre el transporte de carga y las actividades económicas es dejar a TRANUS modelar de manera endógena el transporte en el modo de transporte "carga". No se explicó en el reporte de ETEISA (2004) la razón por la que esto no se hizo. Sin embargo, el transporte de carga en México es complejo por lo que es factible que al intentar modelar el transporte en TRANUS, esto no dio resultados realistas. Esto puede ser debido a que factores exógenos podrían tener un impacto importante con el flujo de carga real observado (como por ejemplo, el hecho de que muchas compañías proveen sus propios servicios de carga). En general en la literatura académica sobre el tema, aún hay muchas dudas sobre la mejor manera de modelar el transporte. En virtud de esto, el modelar el transporte de carga de forma exógena parece razonable.

Para establecer cierta consistencia y poder modelar el transporte de carga de forma exógena, en el escenario nuevo, se supuso que este crece al igual que la población a un 1.2% anual. Este supuesto es muy sencillo. A la larga, si se crearan escenarios de crecimiento económico diferentes, se podría alterar este supuesto, haciendo que coincida con el crecimiento económico especificado. Para ello, se consideraría que el empleo también depende del PIB, y no solamente de la población.

El modelo original supuso un vehículo promedio para poder representar un solo modo de carga que incluyó: vehículos de carga pequeños (dos ejes), medianos (tres ejes) y grandes (Tractocamiones). El problema de esta simplificación es que los diferentes tamaños tendrán diferente impacto en la vía. Por ejemplo, los camiones pequeños tienen un equivalente en autos menor que un camión grande y es posible que puedan circular en vías en las que camiones grandes no puedan. Sin embargo, como simplificación, y a falta de mejor información esto fue un supuesto razonable de hacer. Como hemos visto, se captó parte de la variación en vehículos de carga al crear un costo operativo como promedio ponderado de los costos de varios vehículos de carga diferentes. Los promedios de equivalentes de autos por vehículo de carga parecen razonables por lo que se conservan para el nuevo escenario.

Para refinar estos supuesto en el futuro, tendrían que desglosarse las categorías de transporte en tres. Sin embargo, con ello también tendrían que alterarse las bases de datos en TRANUS. Por otra parte, habrá un cierto porcentaje de carga que se realiza en vehículos más pequeños como vans, combis y pick-ups pero

este tipo de carga no se menciona por ninguna parte por lo que se infiere que no se incluyó de forma explícita como parte de los vehículos privados.

En la versión original de TRANUS – México, los autos equivalentes fueron sugeridos por el Dr. Tomás de la Barra. A falta de información para México, es razonable adoptar esta sugerencia. Sin embargo, en el futuro y para mantener el modelo al día sería importante recavar datos específicos para la ZMVM, ya que estas cifras podrían ser diferentes en el contexto del D.F. Igualmente, la información como tasa de ocupación de vehículos, tiempo de servicio y factor de penalización parece razonable por lo que todos estos valores se conservan para el nuevo escenario.

También para el modelo original se supuso que la ganancia de la empresa de transporte es del 20 % sugerida por el Dr. Tomás de la Barra (basada en su experiencia con carga en otros países). Esto fue razonable dada la carencia de información relevante. Sin embargo, esto amerita estudios más profundos sobre el caso del transporte de carga en México. INEGI tiene información sobre transporte de carga como parte de sus Censos Económicos. Por ahora se toma como dado este supuesto para el nuevo escenario.

Los valores en TRANUS para carga mencionados arriba se supusieron como dados para todo el período de análisis. Esto fue razonable, dada la cantidad tan grande de información que TRANUS requiere. Sin embargo, como se mencionó antes, los precios de combustible fluctúan y no queda claro que las ganancias de las empresas permanezcan iguales a lo largo del tiempo, por lo que, de nuevo, sería recomendable un análisis de sensibilidad a futuro.

También en la versión original se supuso para carga que las condiciones de circulación (iluminación, señalización etc.) no afectan la elección de los usuarios (penalización=1). Esto mismo se supuso para el resto de los operadores. Este supuesto puede llevar a subestimar congestión porque es factible que las condiciones de circulación sí tengan un impacto. La magnitud de esto es desconocida y habría que alterar este supuesto para ver qué pasaría con los resultados. Por ahora se toma como dado, ya que el supuesto debe de estar afectando por igual a ambos escenarios (base y con corredores).

Finalmente, también se supusieron en el modelo original flujos de viajes de carga entre pares de zonas, basados en aforos de SETRAVI (2003). Sin embargo en la versión original que se obtuvo del modelo, el total de viajes en carga no estaba representando el transporte de carga de los conteos de SETRAVI. En vez, el porcentaje que se obtuvo es de 0.29% para el año inicial (que puede verse en la tabla 9 en la sección sobre repartición modal de este documento).

Por consiguiente, fue necesario recalcular los flujos de transporte de carga e incorporarlos a TRANUS para el escenario nuevo. Los cálculos

correspondientes se muestran en el archivo Carga.xls (Anexo D). Ahí se han creado columnas con nuevos flujos de carga suponiendo que el transporte de carga es 5% del total de los flujos como encontró SETRAVI 2003 (archivo Conteos2003.xls y Modos.xls, Anexo D). Como ya se mencionó, para ello se supuso que la actividad de carga crece a la par con la población a 1.2% por año.

El ingreso de esta nueva información se hizo a TRANUS por vía de incorporar la matriz de carga para el año inicial y darle factores de crecimiento correspondientes con 1.2% anual (es decir, para el año 2005, por ejemplo, el crecimiento ha sido 1.024144% con respecto al 2003). Se calculó el nuevo total de transporte de carga de 86,076 (que corresponde al 5.83% del total de viajes que estimamos ser de 1,476,430). Después, de manera similar a como se asignó la población, el nuevo total se repartió a los diferentes pares de zonas con flujos de carga utilizando los porcentajes del total del modelo original. Por ejemplo, en el modelo original el flujo entre la zona 1 y 107 correspondió a 1.18% del flujo total. Por consiguiente, se aplicó este porcentaje al nuevo total de 86,076 y se obtuvieron 1016 viajes entre estas dos zonas. La tabla 12 muestra los cálculos correspondientes.

TABLA 12. Nuevos flujos de transporte de carga

Zona Origen	Zona Destino	Viajes original	% del total	Nuevos flujos (total de viajes)									
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
559	518	41	1.18%	1016	1028	1041	1053	1066	1078	1091	1104	1118	1131
559	390	23	0.66%	570	577	584	591	598	605	612	620	627	635
5	526	165	4.75%	4089	4138	4188	4238	4289	4340	4392	4445	4498	4552
340	181	102	2.94%	2528	2558	2589	2620	2652	2683	2716	2748	2781	2815
360	448	70	2.02%	1735	1756	1777	1798	1820	1842	1864	1886	1909	1932
470	360	88	2.53%	2181	2207	2234	2260	2288	2315	2343	2371	2399	2428
351	459	77	2.22%	1908	1931	1954	1978	2001	2025	2050	2074	2099	2124
368	459	34	0.98%	843	853	863	874	884	895	906	916	927	939
257	459	86	2.48%	2131	2157	2182	2209	2235	2262	2289	2317	2344	2373
86	463	89	2.56%	2206	2232	2259	2286	2314	2342	2370	2398	2427	2456
86	466	80	2.30%	1983	2007	2031	2055	2080	2105	2130	2156	2182	2208
518	587	24	0.69%	595	602	609	617	624	632	639	647	655	662
434	291	76	2.19%	1884	1907	1929	1953	1976	2000	2024	2048	2073	2098
47	556	22	0.63%	545	552	558	565	572	578	585	592	600	607
243	748	64	1.84%	1586	1605	1624	1644	1664	1683	1704	1724	1745	1766
43	40	45	1.30%	1115	1128	1142	1156	1169	1184	1198	1212	1227	1241
254	40	18	0.52%	446	451	457	462	468	473	479	485	491	497
709	133	117	3.37%	2900	2935	2970	3006	3042	3078	3115	3153	3190	3229
204	223	63	1.81%	1561	1580	1599	1618	1637	1657	1677	1697	1717	1738
176	199	192	5.53%	4759	4816	4874	4932	4992	5051	5112	5173	5236	5298
10	279	29	0.84%	719	728	736	745	754	763	772	782	791	800
412	64	107	3.08%	2652	2684	2716	2749	2782	2815	2849	2883	2918	2953
709	1	54	1.55%	1338	1354	1370	1387	1403	1420	1437	1455	1472	1490
715	1013	60	1.73%	1487	1505	1523	1541	1560	1578	1597	1616	1636	1656
96	383	87	2.51%	2156	2182	2208	2235	2261	2289	2316	2344	2372	2400
974	487	95	2.74%	2355	2383	2412	2441	2470	2500	2530	2560	2591	2622

Continúa la tabla 12:

Zona Origen	Zona Destino	Viajes original	% del total	Nuevos															
823	487	93	2.68%	2305	2333	2361	2389	2418	2447	2476	2506	2536	2566						
745	533	47	1.35%	1165	1179	1193	1207	1222	1237	1251	1266	1282	1297						
35	343	25	0.72%	620	627	635	643	650	658	666	674	682	690						
257	823	141	4.06%	3495	3537	3579	3622	3666	3710	3754	3799	3845	3891						
390	559	18	0.52%	446	451	457	462	468	473	479	485	491	497						
96	712	55	1.58%	1363	1379	1396	1413	1430	1447	1464	1482	1499	1517						
84	390	33	0.95%	818	828	838	848	858	868	879	889	900	911						
690	687	91	2.62%	2255	2282	2309	2337	2365	2394	2422	2451	2481	2511						
823	795	317	9.13%	7857	7951	8047	8143	8241	8340	8440	8541	8644	8747						
687	679	78	2.25%	1933	1956	1980	2003	2027	2052	2076	2101	2127	2152						
96	487	43	1.24%	1066	1079	1092	1105	1118	1132	1145	1159	1173	1187						
434	577	111	3.20%	2751	2784	2817	2851	2885	2920	2955	2991	3026	3063						
243	518	61	1.76%	1512	1530	1549	1567	1586	1605	1624	1644	1663	1683						
40	254	28	0.81%	694	702	711	719	728	737	745	754	763	773						
40	118	99	2.85%	2454	2483	2513	2543	2574	2605	2636	2668	2700	2732						
133	210	65	1.87%	1611	1630	1650	1670	1690	1710	1731	1751	1772	1794						
223	147	65	1.87%	1611	1630	1650	1670	1690	1710	1731	1751	1772	1794						
204	176	114	3.28%	2825	2859	2893	2928	2963	2999	3035	3071	3108	3145						
279	10	40	1.15%	991	1003	1015	1027	1039	1052	1065	1077	1090	1103						
1	107	41	1.18%	1016	1028	1041	1053	1066	1078	1091	1104	1118	1131						
	Total carga	3473	100.0%	87109	88154	89212	90282	91366	92462	93572	87109								
	Total viajes	1181144		1476430															
	Porcentaje	0.29%		5.83%															
				86076															
	Crecimiento				1.012	1.024	1.044	1.036	1.043	1.048	1.057	1.074	1.095	1.087	1.085	1.100	1.103	1.113	1.133

Nota: Se supone que el crecimiento anual es del 1.2% al igual que la población y el empleo. El valor en la casilla de crecimiento corresponde a la tasa de crecimiento acumulada que se tendría que aplicar al año original para obtener el valor del año que corresponde a esa columna. Este es el formato que se requiere para que TRANUS pueda calcular los valores que hemos calculado en las columnas.

4.5 ESCENARIO NUEVO PARA TRANUS - MEXICO

4.5.1 Recalibración del 2003 para correr el escenario nuevo

Al concluir las revisiones e incorporar los cambios en población, constante modal, costos operativos, factores de pasos, y matriz origen destino de carga (exógena), se hizo evidente que sería necesario correr un escenario con todos los cambios para el 2003 y re-ajustar los valores necesarios para que reflejaran en la medida de lo posible las condiciones del 2003.

Se corrió el modelo 4 veces más para el 2003, para re-calibrar la nueva versión de TRANUS. La tabla 13 muestra el cambio que se dio a valores de modos y elasticidades de demanda para efectos de encontrar una combinación de variables que nos diera valores muy cercanos a aquellos observados en los conteos del 2003 (SETRAVI 2003). Una copia de esta tabla también se encuentra en el archivo Modos.xls, hoja "Final", Anexo C.

La tabla se construyó de manera similar a la tabla 9. Sin embargo, como se vio en la sección de reparto modal, en esa tabla, se muestra el impacto de la constante modal aislada. En el ejercicio que se describe aquí se volvió a calibrar el modelo, esta vez utilizando no sólo los cambios a las constantes modales, sino también incorporando los cambios a población, costos y demás correcciones que se describieron en secciones anteriores.

En la tabla 9 se muestran en las casillas enumeradas del 1 al 4 las constantes modales y elasticidades de demanda que se le fueron dando al modelo para que generara el reparto modal de acuerdo con el que se observó en los conteos vehiculares de 2003 (y que se muestran en la tercera columna titulada "Meta"). En esta columna se muestran los porcentajes de viajes que se hicieron en transporte privado, público y de carga con respecto al total de viajes de acuerdo con los conteos de vehículos del 2003. Debajo de la sección de elasticidades de demanda se listan, para cada intento que se hizo en TRANUS, el total de viajes que se generaron, y el reparto modal que se generó para ese intento. Estos se comparan con la meta. La última columna (cuarto intento) muestra el reparto que se utilizó para el modelo finalmente. El total de viajes fue de viajes fue de 1,504,139 cifra 1.88% mayor a la meta de 1,476,430. Como puede verse, al ajustarse las variables para reflejar las condiciones iniciales, los totales de viajes y los repartos modales se alteran. Hemos escogido los valores de constante modal generados en el cuarto intento porque es el que genera un reparto modal más cercano al observado en 2003 a expensas de una sobre estimación de viajes muy pequeña (de menos del 2%).

TABLA 13. Valores de constantes modales y elasticidades de demanda de viajes para la re-calibración del modelo

CONSTANTE MODAL POR MODO Y OPERADOR	SIGLA	META	INTENTO:			
			1	2	3	4
Transporte Privado						
Autos particulares	Auto		1	1	1	1
Peatón	Peatón		9	11	13	12
Transporte Público						
Autobús del Distrito Federal (RTP)	BusDF		8.8	10.8	12.8	11.8
Metro neumático	Metro		8.8	10.8	12.8	11.8
Tren ligero	Tliger		8.8	10.8	12.8	11.8
Combi	Combi		8.7	10.7	12.7	11.7
Autobús del Estado de México	BusEdo		8.8	10.8	12.8	11.8
Metro férreo (Línea A)	MetroFerr		8.8	10.8	12.8	11.8
Trolebús	Trolebús		8.8	10.8	12.8	11.8
Colectivo (Microbús)	Colect		8.7	10.7	12.7	11.7
Autobús articulado circulando fuera de corredores de transporte	Artic		8.7	10.7	12.7	11.7
Alimentador troncal de autobús	Alibus		8.7	10.7	12.7	11.7
Alimentador troncal de minibús	Alimini		8.7	10.7	12.7	11.7
Autobús articulado normal	ArtibusN		8.6	10.6	12.6	11.6
Autobús articulado expreso	ArtibusX		8.6	10.6	12.6	11.6
Carga						
Carga	CARGA		1	1	1	1

Continúa la tabla 13:

ELASTICIDADES DE DEMANDA DE VIAJES						
Comercio/Servicios	Com/Serv		0.12	0.12	0.10	0.10
Estrato bajo	EstrBajos		0.08	0.08	0.06	0.06
Estrato medio	EstrMedios		0.09	0.09	0.07	0.07
Estrato alto	EstrAltos		0.1	0.1	0.08	0.08
Resultado						
TOTAL						
Viajes totales		1476430	1481227	1441171	1496981	1504139
% de meta		100.00%	100.32%	97.61%	101.39%	101.88%
REPARTO						
Privado	Privado	74.69%	69.73%	72.88%	76.02%	74.51%
Público	Publico	19.48%	24.45%	21.14%	18.22%	19.75%
Carga	Carga	5.83%	5.81%	5.97%	5.75%	5.72%
Total	Total	100.00%	99.99%	99.99%	99.99%	99.98

Nota: Los porcentajes totales no son iguales a 100% en los intentos por cuestiones de redondeo.

4.5.2 Definición del caso base o escenario sin corredores

En el caso base se modelan únicamente los años 2003, 2007 y 2009 como subescenarios. Para cada variable de interés se proyectan los valores correspondientes entre estos años utilizando un supuesto de crecimiento lineal muy sencillo:

$(((\text{valor en 2007}) - (\text{valor en 2003}))/4) + \text{valor en 2003}$ (2004, 2005 y 2006 respectivamente)

$(((\text{valor en 2012}) - (\text{valor en 2007}))/5) + \text{valor en 2007}$ (2008, 2009, 2010, 2011 y 2012 respectivamente)

En este caso no hay corredores de transporte en ninguno de los años modelados.

Para ambos escenarios (caso base y caso con corredores) y en cada subescenario o año, se está modelando una hora pico de la mañana.

Debido a que los cambios en las variables se dieron en 2003, los resultados del caso base fueron alterados con respecto a los resultados que se mostraron en el modelo original reportado en INE (2005) y ETEISA (2004). El resultado del caso base en este estudio es diferente al que se generó en el modelo original de esos estudios.

4.5.3 Definición del escenario nuevo con corredores

Para este escenario se modelaron todos los años menos el 2004 que se proyectó utilizando una fórmula similar a las del caso base pero aplicada solamente entre los años 2003 y 2005. En este escenario se le dio una constante modal de 2 al metrobús, que implica el supuesto de que las personas lo prefieren por mucho a los demás modos de transporte público.

En esencia, este es un escenario optimista en el que la gente prefiere el Metrobús porque es nuevo, seguro, limpio, y de amplia cobertura. Por eso suponemos una constante modal de 2. Sin embargo, si el Metrobús dejara de estar en buenas condiciones y su oferta no fuera sostenible en el futuro, es factible que la constante modal de este nuevo modo se incremente hasta igualar el de los demás modos.

Los demás modos conservaron su constante modal mostrada en la tabla 13 (última columna). Se incrementaron las elasticidades ligeramente (cada una en 0.02) para reflejar el hecho de que hay un nuevo modo de transporte que hace que las personas tengan más opciones. No se dio un incremento mayor para

reflejar el hecho de que en las calles por donde circula metrobús solamente hay autos privados²³.

Como se mencionó en la sección sobre el análisis de supuestos de corredores, en cada año se incorporan una serie de corredores de metrobús. En 2005 se incorpora un corredor con dos tipos de servicio en Insurgentes (normal y expreso), en el 2006 se incorporan cinco corredores incluyendo el Eje 8, a partir de ahí se incorporan cinco corredores al año hasta el 2011 y seis corredores en el 2012. La descripción de los corredores se encuentra en el reporte de INE (2005).

²³ La elasticidad de demanda de los bienes siempre es mayor si hay más sustitutos en un mercado. En este caso hay un nuevo tipo de modo de transporte. La elección de esta elasticidad es relativamente arbitraria y más bien simbólica, por lo que en modelaciones futuras podría variarse para ver su impacto.

5 RESULTADOS

A continuación se describen los resultados que se obtuvieron al correr TRANUS para el nuevo escenario. Estos resultados se comparan con el caso base que también se generó.

5.1 CONSUMO ENERGÉTICO

En general, el consumo energético baja conforme se ingresan los corredores de metrobús a la red vial. La tabla 14 muestra un resumen de consumo total de combustible bajo las consideraciones de los escenarios con y sin corredores. Este resultado también se puede ver en la figura 6. Vemos que los vehículos cuyo consumo es de gasolina y diesel bajan su consumo de energía. Para una hora pico y para todo el período entre el 2003 y el 2012 hay un ahorro total de 9,451,205 litros de gasolina. El ahorro de diesel en el mismo período es de 1,329,930 litros por hora pico. Esto debe de ser consecuencia de que los niveles de servicio de la red han mejorado en general, con la presencia de los corredores, como se verá más adelante. El ahorro en transporte público no es mayor porque se está utilizando más. Este tema se trata en la siguiente sección. Como se mencionó en secciones anteriores, el uso energético de vehículos eléctricos no se contabilizó por falta de información.

Los autos privados, combis, colectivos y minibuses alimentadores todos se han incluido en la categoría de gasolina. Es posible que algunos de los autobuses utilicen gas natural en cuyo caso su uso de combustible sería diferente y sus emisiones menores que el mismo vehículo a gasolina. Se considera que los autobuses del Distrito Federal y Estado de México, los autobuses articulados, autobuses alimentadores y los vehículos de carga utilizan diesel. El total que se muestra en la última columna de la tabla 14 y en la figura 6 es el agregado de uso de combustible para todos los años (2003 a 2012). Los dos últimos renglones muestran cifras que corresponden al ahorro de combustible (el uso de combustible en el caso base sin corredores menos el uso de combustible en el caso con corredores). Los valores específicos para cada modo en particular se encuentran en las tablas 15 y 16, y en el archivo Resultado.xls del anexo E que acompaña este reporte.

Al incorporarse los corredores, algunos vehículos de transporte público tales como camiones, colectivos y alimentadores a esas rutas son reemplazados por los metrobuses y los alimentadores de metrobuses. Es por ello que su uso energético rebasa el del año base para esos operadores. En algunos años (2006 a 2008) se incrementa el uso de los autos, combis y colectivos por encima del caso base. Esto puede deberse a la demanda inducida y a los ajustes que se están dando sobre la red vial, ya que por lo general, los corredores nuevos se van incorporando en zonas específicas de la Ciudad (zona noroeste y noreste en

2007, zona sureste y suroeste en 2008, por ejemplo) . La demanda inducida ocurre cuando los niveles de servicio se ven mejorados en una vía, porque al ocurrir esto los viajeros tienen un incentivo a utilizar estas vías hasta saturarlas de nuevo. También puede deberse al hecho de que el impacto de los corredores sobre la red vial entera va cambiando año con año conforme estos se implementan en diferentes partes de la ciudad. Esto podría darse porque los corredores en cada año se implementan en diferentes áreas geográficas de la ciudad: por ejemplo, en el noreste y noroeste entre 2007 y 2008, y al sureste y suroeste entre 2009 y 2010. En el 2011 y 2012, los nuevos corredores se encuentran sobre todo al norte.

Es importante notar aquí que la diferencia numérica específica que se da entre ambos escenarios depende en cierta medida de la proyección lineal que hemos hecho para el caso base para los años intermedios, como se mencionó arriba. Si se hubieran proyectado de otra manera o si se hubieran modelado los años intermedios (2004 s 2006 y 2008 a 2011) directamente en TRANUS para el caso base, nuestros resultados podrían mostrar otra tendencia.

El total de ahorro energético que se ha reportado es para una hora pico. Es decir, se ha sumado el ahorro energético para cada hora pico de cada año. Podemos suponer que hay 5 días hábiles por semana que contiene por lo menos 3 horas pico: dos en la mañana y una en la noche. Incluso es posible que, dados los niveles congestión actual, se puedan contar 3 horas pico en la mañana y dos en la noche. Para calcular el uso semanal se multiplicarían las horas pico diarias por el número de días en que ocurren (5 si se cuentan los días hábiles y 6 si se cuenta el sábado que también tiende a mostrar tráfico aunque tal vez no por la misma cantidad de horas). Si se quisiera hacer un cálculo mensual, se tomaría el número semanal y se multiplicaría por el número promedio de días hábiles o con tráfico de un mes. Si un mes tiene un promedio de 30 días, hay un promedio de 20 días hábiles y 24 días con horas pico (si contamos los sábados). Finalmente, para hacer un cálculo total anual se multiplicarían el número de horas pico mensuales por los 12 meses del año (para obtener un estimado anual).

Este ejercicio se haría para cada año de interés. Un ejemplo que se hizo considerando que hay 5 horas pico al día entre semana y tres horas pico los sábados. Esto equivale a multiplicar todos los valores de las tablas 15 y 16 por 385 horas pico al año. Utilizando estos valores encontramos que se ahorran 510.6 millones de litros de diesel y 3.629.2 millones de litros de gasolina en el período entero entre 2003 y 2012. Este ejemplo se muestra a detalle en el archivo de “resultado.xls” en la hoja de cálculo “Sem,mes,anual”.

Si se quisiera hacer una proyección de uso energético muy sencilla a futuro entre el año 2012 y el año 2020, para ello se podría utilizar el valor de uso de combustible que se obtuvo en el 2012 para representar también los años subsecuentes. Esto se debe a que es razonable suponer que la población ya no

crecerá mucho, por lo que el número de viajes que se agreguen a la red por hora pico no deberá de incrementarse de manera sustancial. Esto implica, claro, que también se supone que todos los valores que hemos supuesto como fijos a lo largo de nuestro análisis continúan siéndolo hasta el 2020. También es factible utilizar estos datos suponiendo que no incrementa la infraestructura vial, por lo que se podría entonces considerar los resultados del año 2012 como una especie de equilibrio de la red vial.

TABLA 14. Consumo total de combustible (litros por hora pico, por año)

Escenario	Tipo	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Con corredores	diesel	3,016,135	2,640,685	2,265,235	2,918,286	2,522,850	2,742,316	2,567,249	2,692,841	2,604,277	2,710,215	26,680,089
Con corredores	gasolina	5,409,499	3,133,716	857,933	3,252,810	1,350,117	2,109,102	1,269,597	1,650,153	1,145,277	1,380,997	21,559,201
Sin corredores	diesel	3,016,135	2,851,644	2,687,154	2,522,663	2,358,172	2,543,731	2,729,291	2,914,850	3,100,410	3,285,969	28,010,019
Sin corredores	gasolina	5,409,499	4,288,032	3,166,566	2,045,099	923,632	1,627,593	2,331,554	3,035,516	3,739,477	4,443,438	31,010,406
Sin-Con	diesel	0	210,959	421,919	-395,623	-164,678	-198,585	162,042	222,009	496,133	575,754	1,329,930
Sin-Con	gasolina	0	1,154,316	2,308,633	-1,207,711	-426,485	-481,509	1,061,957	1,385,363	2,594,200	3,062,441	9,451,205

FIGURA 6. Consumo total de combustible (litros por hora pico, por año)

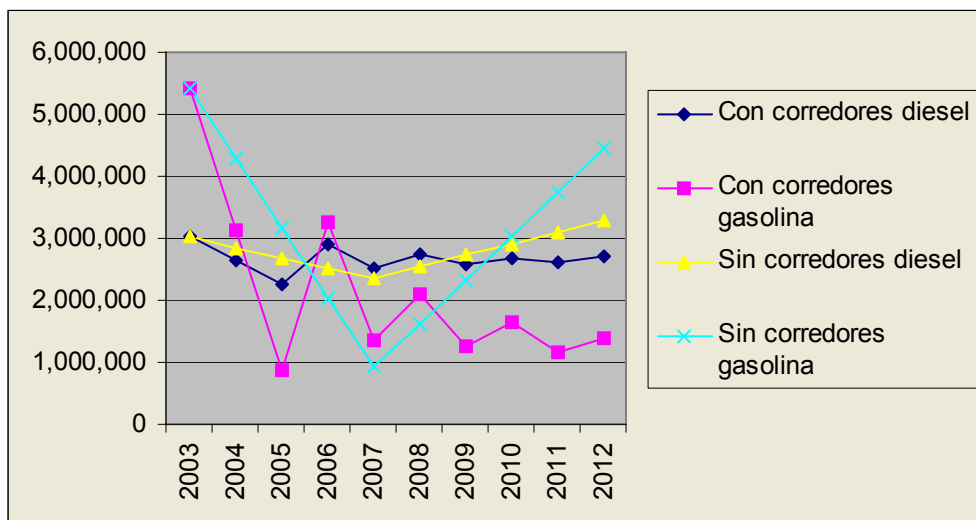


TABLA 15. Uso de combustible por operador (litros por hora pico, por año) en el escenario con corredores

Operador	Tipo	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
Autos particulares	gasolina	5,217,132	2,979,024	740,915	3,083,090	1,218,257	1,953,743	1,136,566	1,505,477	1,014,148	1,244,768	20,093,120
Autobús del Distrito Federal (RTP)	diesel	200,817	153,706	106,594	154,464	120,592	134,965	116,808	124,453	112,835	118,006	1,343,240
Combi	gasolina	31,983	26,661	21,338	36,878	24,053	34,319	25,779	31,819	26,554	30,025	289,409
Autobús del Estado de México	diesel	250,408	194,063	137,718	274,228	128,253	216,787	143,973	196,616	151,087	182,838	1,875,971
Alimentador troncal de autobús	diesel	0	1,412	2,824	10,618	9,195	9,539	9,099	9,053	8,456	8,416	68,612
Colectivo (Microbús)	gasolina	160,384	125,105	89,825	121,675	98,666	110,646	98,113	103,078	95,338	96,765	1,099,595
Autobús articulado circulando fuera de corredores de transporte	diesel	15,285	13,543	11,800	15,181	14,310	13,394	13,300	12,207	12,398	11,439	132,857
Metrobús normal	diesel	0	0	0	4,240	4,369	4,601	4,603	4,603	4,603	4,603	31,622
Metrobús expreso	diesel	0	1,033	2,066	8,254	14,597	18,824	31,488	48,868	58,721	76,308	260,159
Alimentador troncal de minibús	gasolina	0	2,928	5,855	11,167	9,141	10,394	9,139	9,779	9,237	9,439	77,079
Carga	diesel	2,549,625	2,276,929	2,004,233	2,451,301	2,231,534	2,344,206	2,247,978	2,297,041	2,256,177	2,308,605	22,967,629
Total	diesel	3,016,135	2,640,685	2,265,235	2,918,286	2,522,850	2,742,316	2,567,249	2,692,841	2,604,277	2,710,215	26,680,089
Total	gasolina	5,409,499	3,133,716	857,933	3,252,810	1,350,117	2,109,102	1,269,597	1,650,153	1,145,277	1,380,997	21,559,201

Nota: Peatones, y vehículos eléctricos se han eliminado de la tabla, ya que sus valores para todos los años son cero.

TABLA 16. Uso de combustible por operador (litros por hora pico, por año) en el caso base sin corredores

	Tipo	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
Autos particulares	gasolina	5,217,132	4,114,277	3,011,423	1,908,568	805,713	1,495,215	2,184,718	2,874,220	3,563,723	4,253,225	29,428,214
Autobús del Distrito Federal (RTP)	diesel	200,817	182,236	163,655	145,073	126,492	141,388	156,284	171,179	186,075	200,971	1,674,170
Combi	gasolina	31,983	28,318	24,652	20,987	17,321	20,655	23,989	27,322	30,656	33,990	259,872
Autobús del Estado de México	diesel	250,408	221,481	192,554	163,627	134,700	168,833	202,965	237,098	271,230	305,363	2,148,259
Alimentador troncal de autobús	diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colectivo (Microbús)	gasolina	160,384	145,438	130,491	115,545	100,598	111,723	122,848	133,973	145,098	156,223	652,455
Autobús articulado circulando fuera de corredores de transporte	diesel	15,285	14,331	13,377	12,422	11,468	12,391	13,313	14,236	15,158	16,081	66,883
Metrobús normal	diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metrobús expreso	diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alimentador troncal de minibús	gasolina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carga	diesel	2,549,625	2,433,597	2,317,569	2,201,540	2,085,512	2,221,120	2,356,729	2,492,337	2,627,946	2,763,554	24,049,529
Total diesel	diesel	3,016,135	2,851,644	2,687,154	2,522,663	2,358,172	2,543,731	2,729,291	2,914,850	3,100,410	3,285,969	28,010,019
Total gasolina	gasolina	5,409,499	4,288,032	3,166,566	2,045,099	923,632	1,627,593	2,331,554	3,035,516	3,739,477	4,443,438	31,010,406

Nota: Peatones, y vehículos eléctricos se han eliminado de la tabla, ya que sus valores para todos los años son cero.

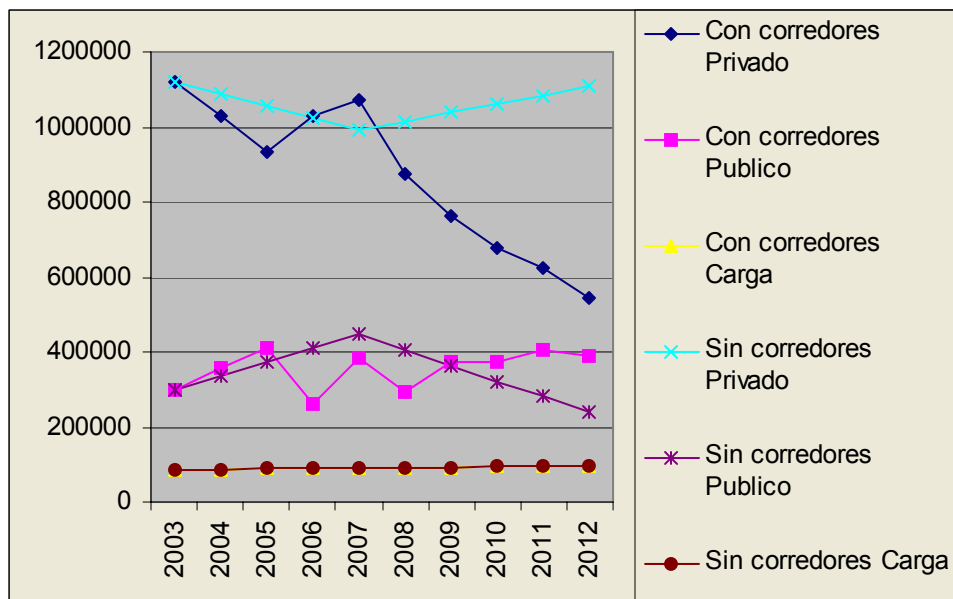
5.2 REPARTO MODAL

El reparto modal para el escenario con corredores muestra que los viajeros tienen una menor tendencia a utilizar el auto privado. Esta tendencia puede verse en la tabla 17 y en la figura 7. De la tabla vemos que el reparto modal inicial (conforme a los conteos de vehículos de SETRAVI del 2003) es tal que 74.52% de los viajes se hacen en autos privados, el 19.76% en transporte público y 5.72% son viajes de transporte de carga. En el caso base sin corredores el reparto para el año 2012 es tal que 76.75% de los viajes se llevan a cabo en autos privados, 16.72% en transporte público y 6.64% en transporte de carga. Pero en el escenario con corredores el reparto para ese mismo año es más favorable al transporte público con un 52.94% de los viajes llevándose a cabo en autos privados, 37.75% en transporte público y un 9.31% en transporte de carga.

TABLA 17. Reparto modal para ambos escenarios (viajes-persona totales y porcentajes del total por modo de transporte)

Con corredores								
Año	Privado	Público	Carga	TOTAL	% Privado	% Público	% Carga	TOTAL
2003	1120865	297198	86076	1504139	74.52%	19.76%	5.72%	100.00%
2004	1027402	355190	87115	1469708	69.91%	24.17%	5.93%	100.00%
2005	933939	413182	88154	1435276	65.07%	28.79%	6.14%	100.00%
2006	1029814	263259	89212	1382286	74.50%	19.05%	6.45%	100.00%
2007	1069444	383625	90283	1543351	69.29%	24.86%	5.85%	100.00%
2008	872481	291860	91366	1255707	69.48%	23.24%	7.28%	100.00%
2009	761394	373074	92462	1226930	62.06%	30.41%	7.54%	100.00%
2010	676954	374794	93572	1145320	59.11%	32.72%	8.17%	100.00%
2011	621695	403172	94695	1119561	55.53%	36.01%	8.46%	100.00%
2012	544681	388432	95831	1028944	52.94%	37.75%	9.31%	100.00%
Promedio	865866.9	354378.6	90876.6	1311122	66.04%	27.03%	6.93%	100.00%
Sin corredores								
Año	Privado	Público	Carga	TOTAL	% Privado	% Público	% Carga	TOTAL
2003	1120865	297198	86076	1504139	74.52%	19.76%	5.72%	100.00%
2004	1088245	334455.8	87127.75	1509828	72.08%	22.15%	5.77%	100.00%
2005	1055625	371713.5	88179.5	1515517	69.65%	24.53%	5.82%	100.00%
2006	1023004	408971.3	89231.25	1521206	67.25%	26.88%	5.87%	100.00%
2007	990384	446229	90283	1526895	64.86%	29.22%	5.91%	100.00%
2008	1013992	404987.4	91392.6	1510372	67.14%	26.81%	6.05%	100.00%
2009	1037601	363745.8	92502.2	1493848	69.46%	24.35%	6.19%	100.00%
2010	1061209	322504.2	93611.8	1477325	71.83%	21.83%	6.34%	100.00%
2011	1084818	281262.6	94721.4	1460801	74.26%	19.25%	6.48%	100.00%
2012	1108426	240021	95831	1444278	76.75%	16.62%	6.64%	100.00%
Promedio	1058417	347108.9	90895.65	1496421	70.73%	23.20%	6.07%	100.00%

FIGURA 7. Tendencia del reparto modal en ambos escenarios (viajes-persona totales)



El transporte de carga permanece mas o menos constante en ambos escenarios. Esto se debe a que, como se explicó en secciones anteriores, el transporte de carga se considera como exógeno. Por consiguiente, las pequeñas fluctuaciones en carga se deben a los cambios en viajes totales que se van llevando a cabo cada año. El uso del transporte público baja y sube año con año. Como se explicó en la sección de uso de combustible, esto puede deberse a los ajustes que se hacen en los viajes sobre la red por efectos del nuevo corredor y por efectos de la demanda inducida. Si en un año, por ejemplo, hay mejores condiciones en la red, los autos privados pueden incrementarse por efectos de demanda inducida. Pero al año siguiente es posible que los nuevos corredores compensan esta tendencia al atraer a más pasajeros en otras partes de la ciudad. Sin embargo, a partir del año 2009 hay una clara tendencia a utilizar menos los autos y más el transporte público. Es decir, que en general, el metrobús tiene éxito en sustituir a los autos para el período de estudio y, por consiguiente, se explica el uso de combustible que baja para los autos (mismo que se describió en la sección anterior).

En promedio se hacen más viajes en el escenario sin corredores, que en el escenario con corredores. Este resultado puede deberse a que en el escenario sin corredores los niveles de servicio se encuentran en peor estado que en el escenario con corredores, como se verá más adelante. Es posible que metrobús ha eliminado ineficiencias y excesos de viajes-persona. Por ejemplo, es posible que las personas que antes ocupaban varios modos de transporte público para un solo viaje, ahora utilicen solamente el metrobús. También es

posible que, dado que en este escenario, como ya se mencionó, las personas son más sensibles a los costos de viaje (porque sus elasticidades se han supuesto ser ligeramente mayores) y que dichas personas dejan de viajar en la hora pico. Sin embargo, no es factible que el cambio tan pequeño en las elasticidades tenga un impacto tan grande.

Es importante recalcar que estos resultados dependen en gran parte de las preferencias de los usuarios. Al darle al modelo una constante modal de 2 para el transporte en Metrobús y conservar la constante de 11 para los demás modos públicos y 1 para el auto, estamos suponiendo que las personas prefieren en gran medida al Metrobús como se explicó en secciones anteriores.

Si se quisiera proyectar el reparto modal al 2020, esto podría hacerse considerando el mismo supuesto que se describió arriba para la proyección de emisiones. Esto es, que el reparto modal no cambia de manera sustancial en el futuro. Este resultado depende en gran parte de que Metrobús se mantenga en muy buenas condiciones de operación para continuar atrayendo a los usuarios.

5.2.1 Kilometraje recorrido y rangos de velocidad

Los kilómetros recorridos totales bajan cada año para el escenario con corredores, comparado con el caso base. Esto puede deberse a que los trayectos son más cortos y directos en el escenario con corredores, que en el escenario sin corredores. Por ejemplo, un trayecto que antes requería de utilizar múltiples modos de transporte público en rutas alternativas más largas, ahora puede hacerse a lo largo de las vías rápidas en los carriles de metrobús y de forma más directa. También se debe a que se realizan menos viajes-persona en el escenario sin corredores, que en el escenario con corredores. El total de kilómetros recorridos en una hora pico para todo el período de análisis (todos los años) es de más de 156 millones, y para el escenario con corredores es de un poco más de 121 millones como se muestra en la tabla 18. La figura 8 muestra la tendencia a lo largo del período de manera gráfica.

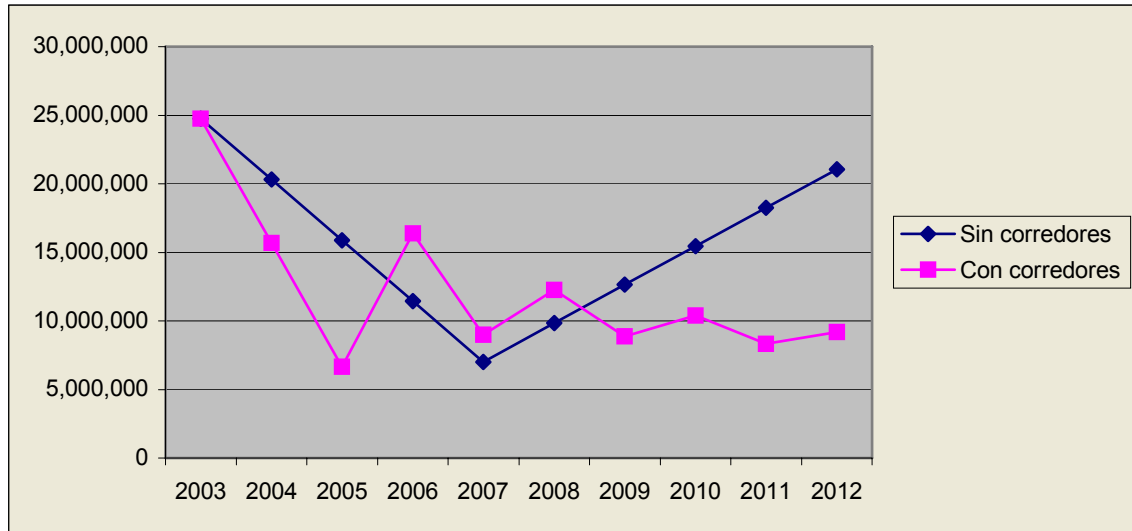
Este resultado depende, sobre todo, de la distribución geográfica de los viajes en la red. Como hemos visto en secciones anteriores, hemos incorporado a la población total correcta, pero con cierta incertidumbre sobre si su localización geográfica también es correcta (por el problema de ambigüedad en la zonificación).

TABLA 18. Kilómetros totales recorridos en una hora pico para cada año

Año	Sin corredores	Con corredores
2003	24,745,804	24,737,207
2004	20,314,379	15,690,110
2005	15,882,953	6,643,012
2006	11,451,528	16,362,937
2007	7,020,102	9,005,713
2008	9,828,498	12,247,725
2009	12,636,894	8,883,102
2010	15,445,291	10,399,875
2011	18,253,687	8,325,690
2012	21,062,083	9,178,540
TOTAL	156,641,218	121,473,911

Nota: si se quisiera calcular el total para una año, se multiplicaría el total de cada casilla por 384 horas pico al año por ejemplo.

FIGURA 8. Kilometraje total recorrido en una hora pico para cada año



En las figuras 10 a 12 se muestran kilómetros viajados por modo en hora pico para años seleccionados (2003, 2007 y 2012). Todos muestran que, en general, los niveles de servicio son mejores en el escenario con corredores. Al observar en qué rangos de velocidad se encuentran los autos, el transporte público, y el transporte de carga nos podemos dar una idea de las condiciones de viaje en la red. Si muchos autos van a velocidades muy bajas, esto implica mucho congestionamiento. Si la mayoría de los vehículos viajan a velocidades de flujo continuo, esto implica mejores niveles de servicio en la red y menores tiempos

de viaje. En el escenario sin corredores se recorren muchos kilómetros a velocidades más bajas, indicando que hay mayores congestiones y tiempos de viaje (y combustible desperdiciado), en comparación con el escenario con corredores.

FIGURA 9. Kilómetros recorridos en una hora pico por autos por rango de velocidad en años seleccionados

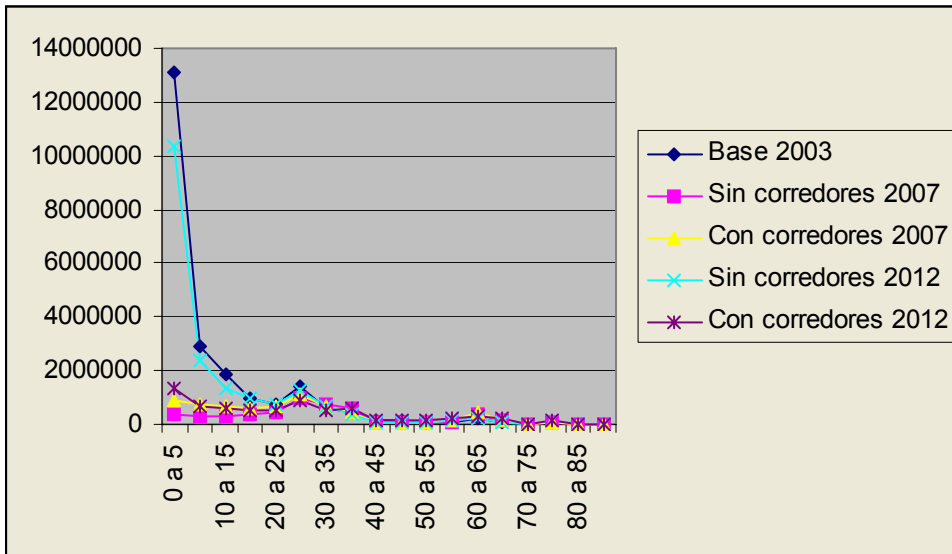


FIGURA 10. Kilómetros recorridos en una hora pico por transporte público por rango de velocidad en años seleccionados

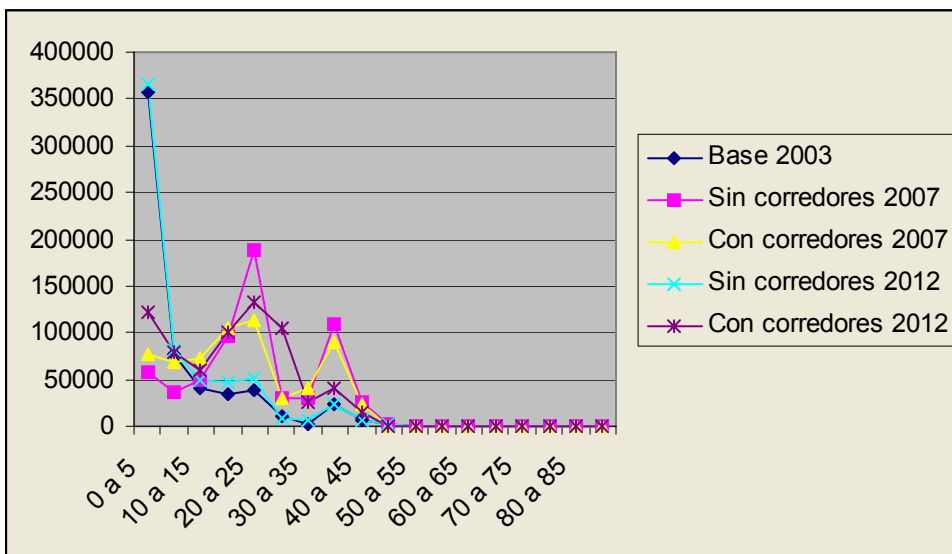
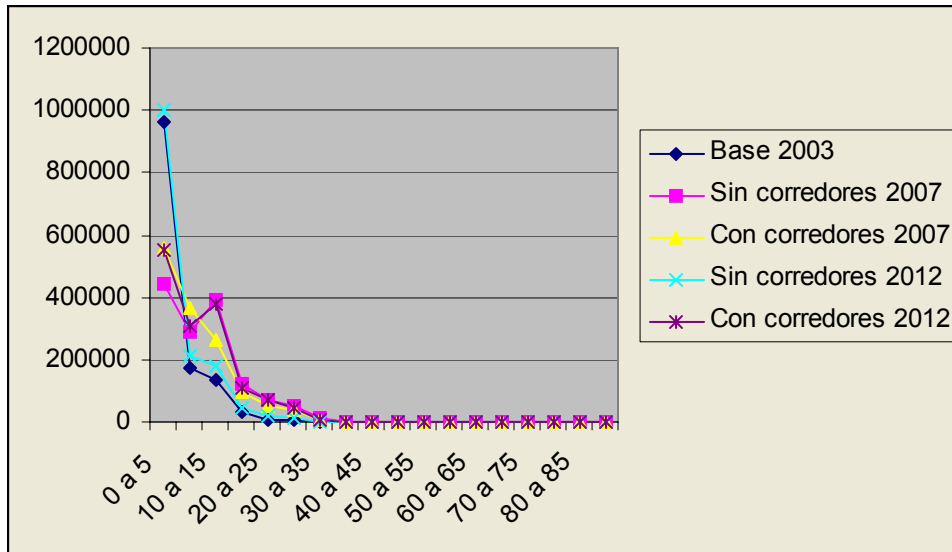


FIGURA 11. Kilómetros recorridos en una hora pico por transporte de carga por rango de velocidad en años seleccionados



Las tablas 19 a 33 muestran la distribuciones de rangos de velocidad para vehículos por hora pico para los diferentes años, tanto para el escenario base sin corredores, como para el escenario con corredores. Las tablas 19 a 22 muestran los vehículos que utilizan gasolina, las tablas 23 a 29 muestran los vehículos que utilizan diesel y las tablas 30 a 33 muestran vehículos eléctricos. Todas estas tablas también se encuentran en el archivo Resultado.xls en el anexo E que acompaña este documento. Estos resultados pueden ser utilizados, junto con factores de emisiones por velocidad para cada tipo de vehículo, para estimar las emisiones que resultan de los vehículos para cada escenario (base y con corredores). Si se quisiera proyectar hacia el futuro, se podrían ocupar los resultados para el año 2012, para cada tipo de vehículo, para representar cada año entre el 2012 y el 2020. Como se ha mencionado antes, por una parte, la población ya no crecerá mucho por lo que es factible que los resultados se mantengan. Para que este sea el caso, sin embargo, también es importante suponer que la infraestructura vial no cambiará (ya no se agregan corredores).

TABLA 19. Kilómetros recorridos en hora pico por autos particulares, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	13,128,463	2,887,521	1,832,954	970,796	742,682	1,445,029	591,428	414,744	115,313	153,312	107,590	75,671	195,774	64,328	35,046	78,401	1,962
2004	9,947,569	2,242,357	1,450,791	812,029	662,915	1,332,961	624,077	463,696	108,446	126,530	99,410	77,319	237,417	91,727	28,839	74,336	3,906
2005	6,766,676	1,597,193	1,068,628	653,261	583,149	1,220,892	656,727	512,649	101,579	99,749	91,230	78,968	279,059	119,127	22,631	70,271	5,851
2006	3,585,782	952,029	686,465	494,494	503,382	1,108,824	689,376	561,601	94,711	72,967	83,050	80,616	320,702	146,526	16,424	66,205	7,795
2007	404,888	306,865	304,302	335,726	423,615	996,755	722,025	610,553	87,844	46,185	74,870	82,264	362,344	173,925	10,216	62,140	9,739
2008	2,401,430	718,844	510,727	458,687	492,348	1,057,301	708,821	562,850	88,177	54,179	79,704	88,557	334,717	156,248	8,598	72,441	8,021
2009	4,397,971	1,130,824	717,153	581,649	561,081	1,117,847	695,617	515,146	88,510	62,173	84,538	94,850	307,090	138,571	6,980	82,742	6,303
2010	6,394,513	1,542,803	923,578	704,610	629,815	1,178,394	682,413	467,443	88,842	70,168	89,372	101,143	279,462	120,894	5,361	93,044	4,584
2011	8,391,054	1,954,783	1,130,004	827,572	698,548	1,238,940	669,209	419,739	89,175	78,162	94,206	107,436	251,835	103,217	3,743	103,345	2,866
2012	10,387,596	2,366,762	1,336,429	950,533	767,281	1,299,486	656,005	372,036	89,508	86,156	99,040	113,729	224,208	85,540	2,125	113,646	1,148
CON CORREDORES																	
2003	13,128,463	2,887,521	1,832,954	970,796	742,682	1,445,029	591,428	414,744	115,313	153,312	107,590	75,671	195,774	64,328	35,046	78,401	1,962
2004	6,740,731	1,572,706	1,050,779	626,294	562,364	1,186,008	636,111	535,546	97,174	100,503	89,406	83,325	256,548	123,526	18,264	72,532	5,510
2005	352,998	257,890	268,604	281,792	382,046	926,986	680,794	656,347	79,035	47,694	71,222	90,979	317,322	182,724	1,481	66,663	9,057
2006	6,352,946	1,941,583	1,328,507	855,223	794,837	1,219,459	630,731	393,795	146,672	147,680	103,928	124,141	176,592	96,707	2,997	62,975	891
2007	922,227	739,399	691,809	626,049	637,154	1,148,803	654,930	472,150	69,442	70,863	86,909	162,331	446,203	184,500	6,263	77,781	3,638
2008	2,696,958	1,354,761	899,364	760,339	751,747	1,224,887	680,626	556,280	224,880	148,809	171,684	172,306	266,451	180,799	46,050	86,239	1,202
2009	713,713	641,123	640,985	543,161	524,830	1,006,369	638,914	576,365	135,752	148,363	194,868	213,850	483,557	197,666	15,881	148,088	1,809
2010	1,684,106	842,332	800,308	731,597	650,482	1,038,607	597,997	650,121	207,286	131,008	127,236	172,476	311,934	210,827	18,973	134,595	1,209
2011	552,911	532,076	575,515	436,794	532,502	909,574	601,196	564,339	212,918	129,271	163,813	211,243	392,669	212,112	9,636	169,930	1,687
2012	1,342,390	691,524	609,075	491,598	517,224	881,517	547,607	598,131	144,091	150,033	168,793	189,488	293,674	252,113	34,484	113,050	1,412

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 20. Kilómetros recorridos en hora pico por combis, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	67,477	6,914	3,140	3,029	782	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	50,896	5,515	3,551	8,463	7,929	2,377	1,987	901	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	34,315	4,116	3,962	13,898	15,076	4,425	3,973	1,802	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	17,733	2,717	4,373	19,332	22,223	6,472	5,960	2,703	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	1,152	1,318	4,784	24,766	29,370	8,519	7,946	3,604	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	15,602	2,441	4,267	20,178	23,589	6,818	6,357	2,883	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	30,051	3,563	3,749	15,590	17,809	5,117	4,768	2,162	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	44,501	4,686	3,232	11,003	12,028	3,417	3,178	1,442	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	58,950	5,808	2,714	6,415	6,248	1,716	1,589	721	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	73,400	6,931	2,197	1,827	467	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	67,477	6,914	3,140	3,029	782	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	34,885	4,151	8,025	7,371	18,618	11,094	4,769	1,180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	2,292	1,387	12,909	11,713	36,454	21,858	9,537	2,360	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	72,671	9,858	8,630	3,044	1,696	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	7,448	14,185	9,796	35,238	18,572	3,366	5,931	1,440	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	58,134	16,218	10,423	6,938	3,917	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	5,102	26,761	20,918	27,030	10,110	3,058	2,830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	46,017	15,144	16,837	10,549	6,151	1,033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	6,920	36,398	8,800	26,835	11,093	1,935	3,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	35,601	22,061	8,770	19,238	7,191	1,951	920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 21. Kilómetros recorridos en hora pico por colectivos (microbuses), por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	134,190	27,233	15,308	14,610	17,652	2,647	1,103	2,776	79	165	0	0	0	0	0	0	0
2004	107,606	24,563	16,434	19,790	34,413	3,539	1,566	8,356	1,072	178	0	0	0	0	0	0	0
2005	81,021	21,893	17,561	24,970	51,174	4,432	2,030	13,936	2,065	190	0	0	0	0	0	0	0
2006	54,437	19,222	18,687	30,150	67,934	5,324	2,493	19,516	3,057	203	0	0	0	0	0	0	0
2007	27,852	16,552	19,813	35,330	84,695	6,216	2,956	25,096	4,050	215	0	0	0	0	0	0	0
2008	45,007	19,923	20,439	32,860	72,880	5,657	2,708	21,005	3,258	205	0	0	0	0	0	0	0
2009	62,162	23,295	21,065	30,390	61,065	5,097	2,460	16,915	2,466	195	0	0	0	0	0	0	0
2010	79,318	26,666	21,690	27,920	49,250	4,538	2,213	12,824	1,674	185	0	0	0	0	0	0	0
2011	96,473	30,038	22,316	25,450	37,435	3,978	1,965	8,734	882	175	0	0	0	0	0	0	0
2012	113,628	33,409	22,942	22,980	25,620	3,419	1,717	4,643	90	165	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	134,190	27,233	15,308	14,610	17,652	2,647	1,103	2,776	79	165	0	0	0	0	0	0	0
2004	78,795	20,615	17,159	22,517	48,448	4,433	2,074	13,079	1,604	173	0	0	0	0	0	0	0
2005	23,400	13,997	19,010	30,424	79,243	6,218	3,044	23,382	3,129	181	0	0	0	0	0	0	0
2006	72,591	32,519	25,154	23,779	26,969	3,897	3,456	4,722	88	141	0	0	0	0	0	0	0
2007	33,344	24,736	31,955	36,239	41,187	2,649	9,495	12,900	2,375	162	0	0	0	0	0	0	0
2008	50,129	30,850	30,815	29,370	41,222	3,703	1,605	6,500	168	141	0	0	0	0	0	0	0
2009	26,882	28,163	30,004	37,243	53,959	4,948	4,972	8,521	2,254	142	0	0	0	0	0	0	0
2010	36,530	30,059	25,302	36,298	53,368	4,488	1,557	7,533	1,284	142	0	0	0	0	0	0	0
2011	23,566	27,387	22,202	44,383	58,648	9,159	1,650	7,809	2,373	143	0	0	0	0	0	0	0
2012	29,002	26,127	22,377	34,983	64,860	6,491	3,489	6,933	2,248	163	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 22. Kilómetros recorridos en hora pico por alimentadores troncales de minibuses, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	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	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	594	416	975	1,323	2,396	221	0	442	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	1,188	831	1,950	2,646	4,792	441	0	883	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	7,913	2,169	1,519	1,275	2,302	526	0	1,294	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	3,454	2,895	1,948	2,297	5,022	324	52	1,286	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	6,386	2,209	1,859	2,074	2,709	560	0	1,294	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	3,426	2,916	1,671	2,573	4,898	491	52	1,286	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	4,871	2,839	1,423	2,428	3,555	860	0	1,338	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	3,843	2,417	1,936	2,444	4,856	524	52	1,286	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	4,752	2,249	815	2,888	4,376	883	45	1,338	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 23. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses Distrito Federal, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	64,833	16,384	10,133	10,078	10,334	4,815	940	1,623	18	359	0	0	0	0	0	0	0
2004	52,637	14,390	10,187	11,882	18,439	5,729	1,374	4,890	478	359	0	0	0	0	0	0	0
2005	40,441	12,395	10,241	13,686	26,543	6,644	1,807	8,157	939	359	0	0	0	0	0	0	0
2006	28,244	10,401	10,294	15,490	34,648	7,558	2,241	11,423	1,399	359	0	0	0	0	0	0	0
2007	16,048	8,406	10,348	17,294	42,752	8,472	2,674	14,690	1,859	359	0	0	0	0	0	0	0
2008	23,895	11,011	11,290	16,787	37,296	7,763	2,378	12,462	1,491	359	0	0	0	0	0	0	0
2009	31,741	13,616	12,233	16,280	31,839	7,054	2,083	10,235	1,123	359	0	0	0	0	0	0	0
2010	39,588	16,221	13,175	15,772	26,383	6,345	1,787	8,007	754	359	0	0	0	0	0	0	0
2011	47,434	18,826	14,118	15,265	20,926	5,636	1,492	5,780	386	359	0	0	0	0	0	0	0
2012	55,281	21,431	15,060	14,758	15,470	4,927	1,196	3,552	18	359	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	64,833	16,384	10,133	10,078	10,334	4,815	940	1,623	18	359	0	0	0	0	0	0	0
2004	38,699	11,870	9,293	11,164	24,675	6,650	1,774	7,576	884	381	0	0	0	0	0	0	0
2005	12,565	7,355	8,453	12,250	39,016	8,485	2,607	13,529	1,750	403	0	0	0	0	0	0	0
2006	38,537	14,822	15,402	13,771	13,896	5,799	1,496	2,396	21	403	0	0	0	0	0	0	0
2007	17,478	12,058	15,973	14,462	23,121	5,954	3,869	12,177	1,348	403	0	0	0	0	0	0	0
2008	22,193	17,844	14,232	16,132	24,315	6,977	1,263	3,347	21	403	0	0	0	0	0	0	0
2009	15,191	10,702	12,066	18,269	28,471	9,198	3,187	9,407	21	403	0	0	0	0	0	0	0
2010	17,789	13,026	14,307	16,486	30,532	7,458	2,796	4,031	21	403	0	0	0	0	0	0	0
2011	12,989	9,492	8,827	20,490	34,352	8,467	3,118	9,081	21	403	0	0	0	0	0	0	0
2012	15,779	10,345	9,738	19,869	33,318	9,814	2,037	5,546	21	403	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 24. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses Estado de México, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	82,824	23,161	9,940	5,740	6,133	2,355	1,090	11,126	6,545	1,555	0	0	0	0	0	0	0
2004	64,435	19,248	10,510	8,533	10,747	3,301	4,863	22,675	9,950	1,596	0	0	0	0	0	0	0
2005	46,046	15,334	11,080	11,325	15,361	4,246	8,636	34,225	13,356	1,637	0	0	0	0	0	0	0
2006	27,657	11,421	11,650	14,118	19,975	5,192	12,409	45,774	16,761	1,678	0	0	0	0	0	0	0
2007	9,268	7,507	12,220	16,910	24,589	6,137	16,182	57,323	20,166	1,719	0	0	0	0	0	0	0
2008	30,371	9,254	11,376	14,659	20,804	4,990	13,823	47,327	17,396	1,728	0	0	0	0	0	0	0
2009	51,474	11,002	10,532	12,408	17,019	3,842	11,464	37,331	14,626	1,738	0	0	0	0	0	0	0
2010	72,576	12,749	9,687	10,157	13,233	2,695	9,106	27,336	11,855	1,747	0	0	0	0	0	0	0
2011	93,679	14,497	8,843	7,906	9,448	1,547	6,747	17,340	9,085	1,757	0	0	0	0	0	0	0
2012	114,782	16,244	7,999	5,655	5,663	400	4,388	7,344	6,315	1,766	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	82,824	23,161	9,940	5,740	6,133	2,355	1,090	11,126	6,545	1,555	0	0	0	0	0	0	0
2004	45,938	15,151	10,833	11,276	16,569	7,700	7,197	35,015	13,815	809	0	0	0	0	0	0	0
2005	9,051	7,141	11,726	16,812	27,004	13,045	13,303	58,903	21,084	62	0	0	0	0	0	0	0
2006	91,515	20,511	14,649	7,537	7,878	2,366	2,901	8,568	8,173	62	0	0	0	0	0	0	0
2007	9,791	10,468	8,683	12,376	19,289	4,081	16,284	62,398	20,628	62	0	0	0	0	0	0	0
2008	54,522	17,180	22,541	12,041	11,763	11,141	10,741	14,121	9,935	62	0	0	0	0	0	0	0
2009	12,149	15,001	11,751	14,641	20,894	16,744	21,264	36,888	15,122	62	0	0	0	0	0	0	0
2010	39,833	20,940	18,299	16,727	14,640	10,235	12,165	20,552	10,972	62	0	0	0	0	0	0	0
2011	15,235	15,688	12,479	18,955	22,912	8,212	21,579	35,985	13,349	62	0	0	0	0	0	0	0
2012	33,726	16,798	15,884	20,063	13,101	12,619	13,495	26,420	12,462	62	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 25. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses articulados, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	2,688	1,340	571	529	1,323	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	2,098	1,189	724	659	1,958	120	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	1,508	1,037	878	789	2,593	136	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	917	886	1,031	918	3,227	151	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	327	734	1,184	1,048	3,862	167	0	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	753	871	1,112	1,037	3,423	157	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	1,179	1,008	1,040	1,027	2,984	147	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	1,604	1,146	968	1,016	2,546	136	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	2,030	1,283	896	1,006	2,107	126	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	2,456	1,420	824	995	1,668	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	2,688	1,340	571	529	1,323	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	1,488	961	900	768	2,906	142	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	288	582	1,229	1,007	4,489	179	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	1,962	1,145	1,240	1,089	2,087	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	1,345	1,422	870	1,539	2,241	123	74	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	1,144	804	1,218	1,696	2,556	176	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	749	1,156	1,309	1,368	2,824	188	31	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	518	788	830	1,911	3,359	136	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	576	870	1,004	1,625	3,262	257	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	259	851	518	1,153	4,509	251	52	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 26. Kilómetros recorridos en hora pico por autobuses alimentadores, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	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	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	16	31	185	233	1,061	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	31	61	369	465	2,121	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	2,169	1,108	1,508	1,090	1,638	93	23	246	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	1,079	1,045	1,307	1,469	2,229	116	0	516	222	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	1,494	753	1,210	1,783	2,292	137	43	269	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	1,022	887	700	1,908	2,933	362	51	395	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	972	920	649	1,644	3,504	204	20	312	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	904	734	335	1,643	3,740	317	0	433	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	751	775	579	1,454	3,887	283	0	369	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 27. Kilómetros recorridos en hora pico por metrobús normal, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	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	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	1,959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	7,815	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	13,825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	17,835	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	29,625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	45,715	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	55,044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	71,472	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 28. Kilómetros recorridos en hora pico por metrobús expreso, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	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	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	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	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	4,647	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	4,787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	5,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	5,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	5,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	5,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	5,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 29. Kilómetros recorridos en hora pico por transporte de carga, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	962,264	170,831	134,673	31,150	8,126	3,661	2,159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	832,082	200,297	199,254	53,162	24,334	15,190	5,064	505	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	701,899	229,762	263,835	75,174	40,543	26,719	7,969	1,009	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	571,717	259,228	328,416	97,185	56,751	38,247	10,873	1,514	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	441,534	288,693	392,997	119,197	72,959	49,776	13,778	2,018	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	553,887	272,940	350,916	104,115	61,688	41,834	11,472	1,614	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	666,240	257,186	308,836	89,034	50,418	33,892	9,165	1,211	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	778,593	241,433	266,755	73,952	39,147	25,949	6,859	807	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	890,946	225,679	224,675	58,871	27,877	18,007	4,552	404	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	1,003,299	209,926	182,594	43,789	16,606	10,065	2,246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	962,264	170,831	134,673	31,150	8,126	3,661	2,159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	679,621	228,011	265,492	76,432	44,492	27,955	8,114	1,109	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	396,978	285,190	396,311	121,714	80,858	52,249	14,068	2,217	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	806,568	261,243	203,586	52,173	31,182	12,919	1,816	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	560,317	365,886	260,594	93,874	54,500	37,372	8,355	2,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	649,208	331,820	279,619	63,644	48,763	22,620	3,092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	534,383	359,498	322,488	100,808	66,482	28,700	4,296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	573,575	331,002	333,566	93,592	61,651	35,257	3,683	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	515,079	346,739	355,442	118,360	72,407	37,758	4,892	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	552,549	309,282	378,722	110,611	69,308	45,507	3,964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 30. Kilómetros recorridos en hora pico por metro, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	0	0	0	0	0	0	5,724	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	5,756	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	5,788	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	5,820	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	5,852	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	5,890	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	5,927	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	5,965	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	6,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	6,040	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	0	0	0	5,724	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	6,150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	6,575	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	6,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 31. Kilómetros recorridos en hora pico por metro férreo, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	0	0	0	0	0	0	2,183	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	2,151	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	2,118	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	2,086	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	2,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	0	0	0	2,183	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	2,131	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	2,079	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 32. Kilómetros recorridos en hora pico por tren ligero, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	0	0	0	0	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	669	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	626	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	0	0	0	0	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

TABLA 33. Kilómetros recorridos en hora pico por trolebús, por rango de velocidad y año

SIN CORREDORES																	
Rango/ Año	0 a 5 km/h	6 a 10 km/h	11 a 15 km/h	16 a 20 km/h	21 a 25 km/h	26 a 30 km/h	31 a 35 km/h	36 a 40 km/h	41 a 45 km/h	46 a 50 km/h	51 a 55 km/h	56 a 60 km/h	61 a 65 km/h	66 a 70 km/hr	71 a 75 km/hr	76 a 80 km/hr	81 a 85 km/hr
2003	5,519	1,106	735	724	1,043	226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	4,827	1,151	914	990	1,295	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	4,135	1,197	1,093	1,256	1,547	349	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	3,443	1,242	1,271	1,521	1,799	411	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	2,751	1,287	1,450	1,787	2,051	472	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	3,348	1,250	1,346	1,598	1,896	420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	3,945	1,212	1,242	1,409	1,742	367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	4,541	1,175	1,137	1,221	1,587	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	5,138	1,137	1,033	1,032	1,433	262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	5,735	1,100	929	843	1,278	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON CORREDORES																	
2003	5,519	1,106	735	724	1,043	226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	3,916	1,154	1,128	1,149	1,509	326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	2,313	1,202	1,520	1,573	1,974	426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	4,317	1,332	884	985	1,155	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	3,561	1,519	1,187	1,079	1,385	193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	2,823	1,775	1,346	1,097	1,589	258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	2,713	1,761	1,438	792	1,989	251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	2,453	1,066	1,474	1,729	1,855	372	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	2,316	1,230	1,373	1,544	1,985	439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	2,151	996	1,271	1,593	2,360	517	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: no hay vehículos circulando a velocidades de más de 85 km/h.

6 CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó la aplicación del modelo TRANUS para estimar el impacto de los corredores metrobús en la ZMVM. Se encontró que se requería de varios cambios para mejorar el modelo. Entre los cambios que se hicieron se actualizó la población, la constante modal, variables de pasos y elasticidades de demanda de viajes, y los flujos de transporte de carga. Estos cambios se hicieron por considerar que los mismos tendrían el mayor impacto en los resultados y que eran posibles dentro de los límites de este estudio. Aunque es recomendable continuar con el esfuerzo de modelación mediante la creación de escenarios alternativos al que se modeló para este estudio, los resultados que se encontraron aquí son un buen principio hacia esa meta. En particular, se encontró que hay ahorros de uso de combustible debido a la introducción de los corredores metrobús. El kilometraje baja progresivamente para todos los modos de transporte en el nuevo escenario. El reparto modal es más favorable hacia el transporte público en el caso con corredores comparado con el caso base.

Los resultados, como en cualquier modelo, dependen de los supuestos que hemos hecho. En particular, varios de los supuestos respecto a elasticidades de demanda de bienes, equivalencias de autos, y costos de uso de energía no se documentaron de forma adecuada para el modelo original. Estas variables parecen razonables por lo que se tomaron como dadas. Algunos otros valores fueron sugeridos por el Dr. Tomás de la Barra (creador de TRANUS) cuya experiencia es valiosa, por lo que dichos valores también se tomaron como dados. También es importante notar que hemos ajustado las variables para calibrar el modelo de tal forma que las condiciones del año 2003 reflejaran lo que se observó en los conteos vehiculares de SETRAVI de ese año. Es posible que otra combinación de variables nos refleje condiciones similares por lo que este aspecto merece más atención en el futuro.

En el caso de la localización de actividades, se supuso que la tendencia a poblar el Estado de México continuaría (ya que el modelo de localización de actividades dentro de TRANUS no se utilizó). Implícito en este supuesto esta también el asumir que hay una oferta ilimitada de terreno en el Estado de México capaz de soportar el crecimiento poblacional ahí. Aunque este supuesto es razonable en un primer esfuerzo de modelación, es recomendable revisarlo en el futuro. Es posible que los corredores de metrobús incentiven la localización de actividades cerca de ellos, acortando los viajes y generando tal vez ahorros de energía mayores. También se supuso que la localización del crecimiento poblacional es correcto. Sin embargo, hemos visto que este puede no ser el caso, afectando la distribución (origen, destino y distancia recorrida) de los viajes.

Adicionalmente, hemos supuesto, por vía de cambios a las constantes modales de los diferentes modos), que en el orden de preferencias de los usuarios, el auto es el mejor modo de transporte, seguido por el metrobús. Este supuesto es responsable de que se haya obtenido un reparto modal favorable. Para que los

beneficios obtenidos por el nuevo escenario se cumplan, es imprescindible que los metrobuses continúen dando un buen servicio.

Con respecto a la red vial, hemos ingresado al modelo rangos de frecuencias para los metrobuses que le dan mucha flexibilidad al modelo para ajustar la oferta de viajes a la demanda de viajes en los mismos. Esto equivale a suponer que la ciudad es capaz de ofrecer una cantidad de unidades de metrobús ilimitadas. Sin embargo, las frecuencias de las demás rutas requieren de revisiones.

Por último, los costos y demás variables se han supuesto como fijas a lo largo del tiempo. Sin embargo, con los cambios en demanda y oferta es factible que estos valores también cambien en términos reales.

En breve, el escenario nuevo que se modeló para este estudio es optimista con respecto a la popularidad de metrobús. Se recomienda continuar el proceso de investigación y actualización de las variables que se tomaron como dadas y de las variables que se supusieron fijas en el tiempo. También se recomienda crear más escenarios (tanto pesimistas como optimistas) y llevar a cabo análisis de sensibilidad para ver el impacto que las variables tienen sobre los resultados.

Aunque actualmente TRANUS parece ser óptimo para ciudades chicas y medianas, conforme avance la tecnología de equipo computacional ofreciendo computadoras más rápidas en procesamiento, y conforme el software de TRANUS continúe su evolución, es factible que el software se adapte mejor a ciudades grandes en el futuro. TRANUS es un modelo que permite modelar la dinámica del tiempo. Esta capacidad no la tienen otros modelos. Esto sería de gran beneficio para la ZMVM en sus necesidades de planeación de transporte y uso de suelo.

7 APENDICE 1: ECUACIONES INSUMO-PRODUCTO UTILIZADAS PARA TRANUS-MEXICO

Como puede observarse del archivo CoefsIP.xls, los coeficientes insumo-producto “explican” el porcentaje que cada grupo de población representa en cada grupo de empleo y viceversa. Es decir que un coeficiente en particular explica cuántas personas de un grupo poblacional se requieren para hacer el trabajo en un grupo económico. Las ecuaciones generales de insumo-producto, en el contexto de TRANUS se expresan como sigue:

$$\begin{aligned}K1 M + K2 C + K3 S + Q1 EB + Q2 EM + Q3 EA &= M \\P1 M + P2 C + P3 S + R1 EB + R2 EM + R3 EA &= C \\L1 M + L2 C + L3 C + U1 EB + U2 EM + U3 EA &= S \\A1 M + A2 C + A3 S + H1 EB + H2 EM + H3 EA &= EB \\B1 M + B2 C + B3 S + I1 EB + I2 EM + I3 EA &= EM \\C1 M + C2 C + C3 S + J1 EB + J2 EM + J3 EA &= EA\end{aligned}$$

En TRANUS no todos los sectores demandan de sí mismos²⁴, sino sólo de otros sectores por lo que las ecuaciones se simplifican bastante.

$H1=H2=H3=I1=I2=I3=J1=J2=J3=0$, dejando:

$$\begin{aligned}A1 M + A2 C + A3 S &= EB \\B1 M + B2 C + B3 S &= EM \\C1 M + C2 C + C3 S &= EA\end{aligned}$$

Donde A1 a A3, B1 a B3 y C1 a C3 son coeficientes insumo producto, M son empleados totales en manufacturas, C empleo total en comercio y S empleo total en servicios, EB población total de estratos bajos, EM población total de estratos medios y EA población total de estratos altos. A1 es el porcentaje que las manufacturas ocupan del total de la población de estratos bajos, A2 lo que los comercios ocupan de población de estratos bajos y A3 lo que los servicios ocupan de la población de estratos bajos. B1 es el porcentaje que las manufacturas ocupan de la población total de estratos medios, etc.

El sistema de ecuaciones es un sistema simultáneo de 3 variables (M,C y S) con seis incógnitas. El número de soluciones es múltiple. Por consiguiente es necesario, ya sea, tener información insumo-producto adicional que se pueda obtener de alguna tabla insumo-producto, o bien, hacer supuestos

²⁴ En realidad, una tabla insumo-producto incluye los intercambios de todos los grupos consigo mismos y con los demás. Como puede verse en el archivo CoefsIP.xls, se supone que los intercambios entre grupos mismos son nulos y por eso cada ecuación como lo sería por ejemplo: $A1 M + A2 C + A3 S + H1 EB + H2 EM + H3 EA = EB$ se reduce a, por ejemplo, $A1 M + A2 C + A3 S = EB$, ya que $H1=H2=H3=0$.

simplificadores. En el caso de TRANUS-MEXICO se hicieron supuestos simplificadores.

En particular, se supuso que tanto las manufacturas, como los comercios, como los servicios demandan las mismas proporciones de población de estratos bajos, medios y altos. Es decir:

$$\begin{aligned}A1 &= A2 = A3 \\ B1 &= B2 = B3 \\ C1 &= C2 = C3\end{aligned}$$

Esto reduce el sistema como sigue:

$$\begin{aligned}A1(M+C+S) &= EB \\ B1(M+C+S) &= EM \\ C1(M+C+S) &= EA\end{aligned}$$

Llamemos a la suma $M+C+S=T$, entonces el sistema es:

$$\begin{aligned}A1 T &= EB \\ B1 T &= EM \\ C1 T &= EA\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A1 &= EB/T \\ B1 &= EM/T \\ C1 &= EM/T\end{aligned}$$

Este proceso explica los coeficientes contenidos en las columnas B,C y D del archivo CoefsIP.xls. En ese archivo el valor $A=A1+B1+C1$. Nótese que estos cálculos están en unidades de número de personas. Los flujos de bienes y servicios se supone se hacen por personas en viajes que realizan las mismas, como se verá abajo, o en transporte de carga.

Un proceso similar explica los coeficientes en las columnas E, F, y G. Antes encontramos los “insumos” poblacionales que las diferentes actividades económicas demandan. Ahora queremos conocer cuántos bienes finales (comercios y servicios) demanda la población. De:

$$\begin{aligned}K1 M + K2 C + K3 S + Q1 EB + Q2 EM + Q3 EA &= M \\ P1 M + P2 C + P3 S + R1 EB + R2 EM + R3 EA &= C \\ L1 M + L2 C + L3 C + U1 EB + U2 EM + U3 EA &= S\end{aligned}$$

Sabemos que $K1=1$, y $K2=K3=P1=P2=P3=L1=L2=L3=0$. Nos queda que:

$$\begin{aligned}K1 M &= M \\ R1 EB + R2 EM + R3 EA &= C \\ U1 EB + U2 EM + U3 EA &= S\end{aligned}$$

De nuevo tenemos un supuesto simplificador que hace que $Q_1=Q_2=Q_3$, $R_1=R_2=R_3$ y $U_1=U_2=U_3$. Si $ET=EB+EM+EA$, entonces queda:

$$\begin{aligned}K_1 M &= M \\R_1 ET &= C \\U_1 ET &= S\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_1 &= M/M \\R_1 &= C/ET \\U_1 &= S/ET\end{aligned}$$

8 APENDICE 2: ECUACIONES PARA CÁLCULO DE COSTOS OPERATIVOS

Para el cálculo de costos operativos de vehículos no eléctricos se siguió el procedimiento indicado en el reporte SCT-IMT 2002. La fórmula se calculó en unidades de pesos por vehículo-kilómetro:

$$COT = Fb \times Cbase$$

Donde CO es costo operativo, Fb es el factor de costo de operación base, CB es el costo de operación base del vehículo. Similarmente se calcularon costos de uso de combustible:

$$CC = Fb \times Ccbase$$

$$CDI = COT - CC$$

Para el transporte de carga esta fórmula se aplicó primero a cada tipo de vehículo de carga y después se obtuvo un promedio ponderado. Como SETRAVI 2003 clasificó los flujos vehiculares en dos ejes, tres ejes y tractocamiones, para obtener los porcentajes de vehículos en las diferentes categorías de tractocamiones se utilizaron los porcentajes de SCT-IMT 2004 para tractocamiones (cinco, seis y nueve ejes) y se repartieron dentro del 23.69% de viajes en tractocamión de SETRAVI como se muestra en el archivo Costoperac.xls en la hoja de cálculo "Corrección".

Para el cálculo de costos operativos de vehículos eléctricos (metro, metro férreo, trolebús y tranvía) se dividió el costo operativo total entre el número de vehículos y el número de kilómetros circulados:

$$COT = \text{Costo operacional total anual (\$)} / (\text{Vehículos} \times \text{Kilómetros circulados})$$

Para obtener el costo operativo por distancia se le restó a éste el costo por uso de combustibles y electricidad (porque estos se ingresan por separado en TRANUS):

$$CDI = COT - CC$$

Es necesario señalar que los trolebuses y tranvías fueron agregados dentro de una sola categoría por falta de datos.

9 REFERENCIAS

De la Barra, Tomás (1989) Integrated Land Use and Transportation Modeling. Cambridge University Press, New York.

CONAPO (1998), 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. (En partes, Anexo XI)

INE (2005) Reporte sobre Datos de Actividad y Consumo de Combustible por Categoría Vehicular en la ZMVM, (2002-2020).

INEGI Estadísticas sobre población y empleo (Censo Población y Vivienda 2000) <http://www.inegi.gob.mx>. Consultadas en octubre del 2005.

INEGI Estadísticas sobre metro y tren ligero (Censo Población y Vivienda 2000) <http://www.inegi.gob.mx>. Consultadas en octubre del 2005.

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.

Modelística. Estructura Matemática de TRANUS. www.modelistica.com. Consultado en Septiembre del 2005.

Modelística. Interfaz Gráfica y Base de Datos. www.modelistica.com. Consultado en Septiembre del 2005.

Modelística. Programas Ejecutables (Manual de Transus). www.modelistica.com. Consultado en Septiembre del 2005.

INE (2005) Reporte sobre Datos de Actividad y Consumo de Combustible por Categoría Vehicular en la ZMVM, (2002-2020).

Modelística. Tutorial. www.modelistica.com. Consultado en Septiembre del 2005.

SCT (2002). Estado superficial y costos de operación en carreteras.: <http://www.imt.mx/espanol/publicaciones/pubtec/pt202.pdf>. Consultado en octubre del 2005.

SCT-IMT (2004) 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>. Consultado en octubre del 2005.

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. Anexo I.

SETRAVI (2003) Conteos vehiculares. Disco 2, Carpeta “Corredores Estratégicos” , Anexo IX.

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

UNAM (2002) Informe de Análisis de Información. Anexo I.