



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO:
IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y
MEDIO AMBIENTE.**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN ECONOMÍA**

P R E S E N T A :

DAVID RICARDO HERES DEL VALLE

ASESOR: DR. LUIS MIGUEL GALINDO PALIZA



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F.

MAYO, 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: DAVID RICARDO HERES DEL VALLE

FECHA: 19 Mayo 2004

FIRMA: [Firma manuscrita]

**ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ.
DIRECTOR GENERAL DE LA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR.
P R E S E N T E.-**

Me permito informar a Usted, que de acuerdo a los Artículos 19 y 20, Capítulo IV del Reglamento General de Exámenes, he leído en calidad de Sinodal, la tesis que como prueba escrita presenta el (la) sustentante: **C. DAVID RICARDO HERES DEL VALLE**, bajo el siguiente título: **“EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE”** en tal virtud, considero que dicho trabajo reúne los requisitos para su réplica en examen profesional.

Atentamente

MTRO. ALEJANDRO VILLEGAS LÓPEZ.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ.
DIRECTOR GENERAL DE LA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR.
P R E S E N T E.-**

Me permito informar a Usted, que de acuerdo a los Artículos 19 y 20, Capítulo IV del Reglamento General de Exámenes, he leído en calidad de Sinodal, la tesis que como prueba escrita presenta el (la) sustentante: **C. DAVID RICARDO HERES DEL VALLE**, bajo el siguiente título: **“EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE”** en tal virtud, considero que dicho trabajo reúne los requisitos para su réplica en examen profesional.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Consuelo', enclosed within a large, loopy oval scribble.

DRA. CONSUELO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ.
DIRECTOR GENERAL DE LA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR.
P R E S E N T E.-**

Me permito informar a Usted, que de acuerdo a los Artículos 19 y 20, Capítulo IV del Reglamento General de Exámenes, he leído en calidad de Sinodal, la tesis que como prueba escrita presenta el (la) sustentante: **C. DAVID RICARDO HERES DEL VALLE**, bajo el siguiente título: **“EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE”** en tal virtud, considero que dicho trabajo reúne los requisitos para su réplica en examen profesional.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Roberto Iván Escalante Semerena'.

DR. ROBERTO IVÁN ESCALANTE SEMERENA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

**ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ.
DIRECTOR GENERAL DE LA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR.
P R E S E N T E.-**

Me permito informar a Usted, que de acuerdo a los Artículos 19 y 20, Capítulo IV del Reglamento General de Exámenes, he leído en calidad de Sinodal, la tesis que como prueba escrita presenta el (la) sustentante: **C. DAVID RICARDO HERES DEL VALLE**, bajo el siguiente título: **“EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE”** en tal virtud, considero que dicho trabajo reúne los requisitos para su réplica en examen profesional.

Atentamente

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser la de Horacio Catalán Alonso. La firma es fluida y se extiende horizontalmente.

MTRO. HORACIO CATALÁN ALONSO.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ.
DIRECTOR GENERAL DE LA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR.
P R E S E N T E.-**

Me permito informar a Usted, que de acuerdo a los Artículos 19 y 20, Capítulo IV del Reglamento General de Exámenes, he leído en calidad de Sinodal, la tesis que como prueba escrita presenta el (la) sustentante: **C. DAVID RICARDO HERES DEL VALLE**, bajo el siguiente título: **“EVIDENCIA EMPÍRICA DE TRÁFICO INDUCIDO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO: IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE”** en tal virtud, considero que dicho trabajo reúne los requisitos para su réplica en examen profesional.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Galindo Páliza', written over a horizontal line.

DR. LUIS MIGUEL GALINDO PÁLIZA.

Agradecimientos

A Papá y Mamá primero porque, aunque evidentemente esencial, traerme al mundo ha sido tan solo una mínima parte de lo que me han dado. Gracias por Todo.

A mi hermano Rafa: Gracias por el apoyo y seguimiento en cada una de las facetas (aunque sé, preferirías el Bernabéu).

Agüe por el ejemplo de tu lucha y las experiencias a tu lado.

A Marina porque desde el inicio hasta hoy sigues siendo una gran motivación.

A mis otros hermanos: LB y LP. *Simplemente K.O.Rkin'*

A ti Valen (MiBó) por tu apoyo incondicional y la preparación del vuelo; *por estar*.

Sebastián, siempre presente, por tus incontables bienvenidas a casa y tu fiel amistad.

A LapCoss y Flora por el apoyo brindado para la conclusión de este trabajo.

A esta Universidad que ha constituido una parte troncal de mi formación durante 14 años y que me ha dado la oportunidad de acumular infinitas experiencias e invaluable aprendizaje que guardo en mi baúl más preciado.

A Luis M. Galindo y Horacio Catalán por la guía en este trabajo. A mis sinodales: Dr. Roberto Escalante, Dra. Consuelo González y Mtro. Alejandro Villegas. A todos los maestros que tienen la nobleza de transmitir su conocimiento y representan para mí un ejemplo de dedicación.

Mi más profundo agradecimiento a todos ustedes, igual que a mi familia y amigos que no incluí aquí. Al final, todos han sido parte.

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICO-DEMOGRÁFICAS, MOVILIDAD URBANA Y MEDIO AMBIENTE DE LA ZMCM | 4 |
| 1.1 POBLACIÓN, ECONOMÍA Y CONSUMO DE GASOLINAS EN LA ZMCM | 4 |
| 1.1.1 DEMOGRAFÍA | 4 |
| 1.1.2 ECONOMÍA | 6 |
| 1.1.3 CONSUMO DE GASOLINAS EN LA ZMCM | 9 |
| 1.2 EL TRANSPORTE EN EL DESARROLLO DE LAS CIUDADES Y LA ZMCM..... | 12 |
| 1.3 DISTRIBUCIÓN MODAL EN LA ZMCM..... | 15 |
| 1.4 VIALIDADES EN LA ZMCM..... | 20 |
| 1.4.1 RED VIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LA ACTUALIDAD | 21 |
| 1.4.1.1 Red vial primaria | 22 |
| 1.4.1.2 Red vial secundaria..... | 24 |
| 1.4.1.3 Red vial terciaria..... | 24 |
| 1.4.2 DESARROLLO DE LA RED VIAL EN LA CIUDAD DE MÉXICO | 24 |
| 1.5 CONTAMINACIÓN EN LA ZMCM..... | 26 |
| 1.5.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS DE LA ZMCM | 28 |
| 1.5.2 INVENTARIO DE EMISIONES | 30 |
| 1.5.3 MEDICIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA ZMCM | 33 |
| 1.5.3.1 Red automática y manual de monitoreo atmosférico (RAMA)..... | 33 |
| 1.5.3.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)..... | 34 |
| 1.5.4 EMISIONES DE GEI EN MÉXICO Y LA ZMCM | 37 |
| 1.5.5 EFECTOS DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN SOBRE LA SALUD | 38 |
| 1.5.6 ALGUNAS COMPARACIONES INTERNACIONALES..... | 39 |
| 2. TRÁFICO INDUCIDO: TEORÍA Y EVIDENCIA EMPÍRICA..... | 43 |
| 2.1 ¿QUÉ ES EL TRÁFICO INDUCIDO?..... | 43 |
| 2.2 TEORÍA DEL TRÁFICO INDUCIDO | 48 |
| 2.3 EVIDENCIA EMPÍRICA DEL TRÁFICO INDUCIDO | 53 |
| 2.3.1 ESTUDIOS SOBRE PROYECTOS ESPECÍFICOS | 58 |
| 2.3.2 ESTUDIOS DE ÁREA | 60 |
| 2.3.3 ESTUDIOS CON ELASTICIDAD C.R.A. TIEMPO DE VIAJE..... | 62 |
| 2.4 CRÍTICAS A LA TEORÍA DEL TRÁFICO INDUCIDO | 64 |
| 3. MODELO ECONÓMICO DE CORRECCIÓN DE ERRORES PARA LA DEMANDA DE GASOLINA EN LA ZMCM | 66 |
| 3.1 MARCO TEÓRICO | 66 |
| 3.1.1 PROCESOS ESTOCÁSTICOS ESTACIONARIOS, CAMINO ALEATORIO Y REGRESIÓN ESPURIA | 68 |

| | |
|--|------------|
| 3.1.2 PRUEBAS DE RAÍCES UNITARIAS | 69 |
| 3.1.3 COINTEGRACIÓN Y MECE | 71 |
| 3.2 DATOS Y MODELO | 73 |
| 3.2.1 DATOS | 73 |
| 3.2.2 MODELO | 76 |
| 3.3 RESULTADOS..... | 78 |
| 3.4 ANÁLISIS IMPULSO-RESPUESTA | 85 |
| 3.5 CAUSALIDAD | 86 |
| | |
| 4. IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD URBANA Y EL MEDIO AMBIENTE DE LA ZMCM | 90 |
| | |
| 4.1 IMPLICACIONES SOBRE LA MOVILIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE DE LA ZMCM..... | 90 |
| 4.2 IMPLICACIONES SOBRE EL ANÁLISIS ECONÓMICO..... | 98 |
| 4.2.1 EFICIENCIA ECONÓMICA..... | 98 |
| 4.2.2 VIALIDADES: ¿BIEN PÚBLICO O PRIVADO?..... | 99 |
| 4.2.3 EXTERNALIDADES..... | 100 |
| 4.2.4 ANÁLISIS DE BIENESTAR CON TRÁFICO INDUCIDO..... | 104 |
| 4.2.5 COSTO BENEFICIO Y COSTO EFICIENCIA | 109 |
| | |
| 5. ALTERNATIVAS HACIA UN SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO SUSTENTABLE EN LA ZMCM..... | 113 |
| | |
| 5.1 MECANISMOS HACIA UN STUS EN LA ZMCM | 115 |
| 5.1.1 MECANISMOS DE REGULACIÓN | 116 |
| 5.1.2 MECANISMOS DE PRECIOS | 116 |
| 5.1.3 MECANISMOS TECNOLÓGICOS, SISTEMAS INNOVADORES E INFRAESTRUCTURA | 117 |
| 5.2 OBSTÁCULOS PARA LOGRAR UN STUS EN LA ZMCM..... | 119 |
| 5.3 EXPERIENCIAS EXITOSAS | 121 |
| | |
| 6. CONCLUSIONES | 126 |
| | |
| APÉNDICE A. ABREVIATURAS..... | 134 |
| | |
| APÉNDICE B. ESTADÍSTICO | 135 |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 140 |

Introducción

Los debates a que han dado lugar las ampliaciones de la infraestructura vial de las grandes ciudades no han derivado aún en muchos casos, como el de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en una expresión cuantificable de los beneficios y costos que tales obras generarían. En el caso particular de la ZMCM, mientras algunos sectores manifiestan que es indispensable que se lleven a cabo estos proyectos como parte de un plan integral de transporte y que sus beneficios alcanzarán a la mayor parte de los habitantes, se encuentran, por el otro lado, quienes argumentan que estas obras presentan tintes políticos y que lo único que traerán como consecuencia son nuevos cuellos de botella en cuanto a la movilidad de los cerca de 18 millones de habitantes con los que cuenta esta urbe. Además de ello, los problemas ambientales de la ZMCM no son pocos como para aunarle una nueva demanda de automóviles, principales causantes de la contaminación del aire (CAM, 2001). Este impulso a la demanda de automóviles o de viajes en automóvil provendrá de orígenes diversos pero fácilmente identificables como el crecimiento demográfico, el incremento en el ingreso per cápita y la disminución en los precios relativos de los automóviles. Sin embargo, la variable que este trabajo de investigación pretende incorporar como explicativa de un incremento de la demanda de viajes es la infraestructura vial, esto es, los kilómetros lineales con que cuenta la ZMCM en vialidad primaria. Se trata, por ende, de un análisis donde se reconoce el fenómeno conocido como *tráfico inducido*¹, el cual se coloca constantemente y de manera importante en la mesa de discusión desde mediados de los noventa tras la evaluación de un amplio programa de transporte en Inglaterra (SACTRA, 1994). La teoría y evidencia empírica sobre este

¹ La revista *Transportation*, dedicó en el año 1996 todo el número 23 a artículos sobre este fenómeno.

fenómeno serán tratadas con amplitud en el segundo capítulo y mediante un modelo econométrico se prueba su existencia para el caso de la ZMCM en el tercer capítulo.

El principal objetivo de este trabajo es justamente mostrar evidencia empírica de la existencia de tráfico inducido en la ZMCM en el periodo 1980-2002. De igual manera, el trabajo pretende identificar los efectos de este fenómeno sobre la salud, el medio ambiente y la propia movilidad a largo plazo que deberán ser incluidos en todo análisis que trate de comparar los costos y beneficios asociados a obras de ampliación de la red vial. Los resultados obtenidos muestran una relación positiva entre vialidades y consumo de gasolina confirmando la presencia de tráfico inducido en la ZMCM en el periodo estudiado.

El trabajo consta de seis capítulos, cuya estructura comento brevemente en seguida. En el Capítulo I se ofrece tanto una panorámica de las características demográficas, económicas y climáticas de la ZMCM, así como una breve historia del crecimiento de la vialidad y la distribución modal del transporte en la ZMCM. Se describe también la contribución de cada tipo de fuente en el total de los distintos contaminantes del aire y se presenta una breve comparación de lo que ocurre en otras grandes ciudades del mundo. En el segundo capítulo se hace una revisión de los trabajos más importantes que se han realizado sobre la hipótesis del tráfico inducido tanto en el aspecto teórico como en el empírico.

En el Capítulo III se desarrolla la especificación y estimación del modelo econométrico para determinar las variables relevantes que explican la demanda de viajes en la ZMCM. Cabe señalar que ha resultado particularmente difícil contar con los datos requeridos para un análisis como el que se pretende en este trabajo, sin embargo dado que algunas variables

se encuentran estrechamente ligadas se permite el uso de datos alternos. Por ejemplo, para la demanda de viajes no se tomará el valor de los kilómetros recorridos sino el consumo de gasolina en la ZMCM. Por otra parte, los datos oficiales sobre kilómetros en vialidades presentaron serias inconsistencias que obligaron a realizar un análisis minucioso de las fuentes.

A pesar de las dificultades arriba comentadas, en el tercer capítulo se presenta el modelo econométrico que nos mostrará como contribuye cada una de las variables en la conformación del consumo anual de gasolina y que será capaz de pronosticar la demanda de gasolina ante diversos escenarios que se presentan en el cuarto capítulo. Este capítulo trata sobre una transformación de los resultados para mostrarnos los niveles de emisiones contaminantes como consecuencia del consumo anual de gasolina, así como las repercusiones asociadas a dichos volúmenes de intoxicación de la atmósfera y las implicaciones para el análisis económico.

Finalmente, en el capítulo quinto se presentan algunas medidas que nos puedan encaminar hacia un Sistema de Transporte Urbano Sustentable en la ZMCM, así como los posibles obstáculos para su implementación y algunos casos exitosos internacionales. Las conclusiones dan un resumen acerca de los resultados, repercusiones y posibles soluciones de la problemática planteada en este trabajo de investigación, mismo que lejos de representar una crítica hacia la manera de proceder de las autoridades encargadas de la planeación urbana, pretende ser una contribución para la solución de los problemas ambientales y de movilidad de la ZMCM.

1. Características Económico-Demográficas, Movilidad Urbana y Medio Ambiente de la ZMCM

1.1 Población, Economía y Consumo de Gasolinas en la ZMCM

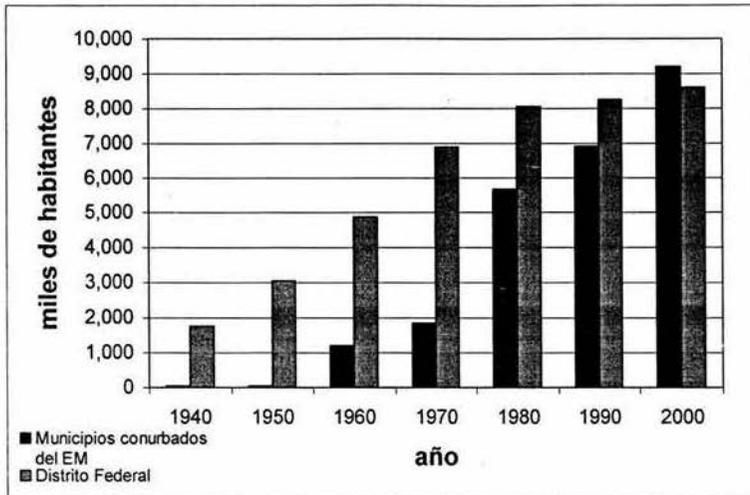
1.1.1 Demografía

Para el año 2000 de acuerdo al Censo de Población y Vivienda² la ZMCM contaba ya con poco menos de 18 millones de habitantes (17'809,471) repartidos casi igualmente entre los 1,484km² de superficie con que cuenta el Distrito Federal (DF) y los 3,441km² pertenecientes a los 34 municipios conurbados del Estado de México (EM), quienes en conjunto representan tan solo el 0.25% del territorio nacional. Los altos niveles de urbanización que ha alcanzado esta macroregión que en 1940 contaba con tan solo 118km² de superficie urbanizada y que en la actualidad tiene cubiertos 1,500km² con dicho tipo de uso de suelo, fueron precedidos por la dinámica poblacional que se registra en la gráfica 1.1.

El acelerado proceso de crecimiento demográfico en la ZMCM hasta antes de los años ochenta estuvo determinado por las ventajas que ofrecía la metrópoli de un país que se encontraba en plena fase de acelerado crecimiento económico a toda la población rural de bajos recursos y con reducidas oportunidades de escalar su situación social y económica en su propia localidad.

² INEGI (2001), *XII Censo General de Población y Vivienda. Síntesis de Resultados. Estados Unidos Mexicanos*

Gráfica 1.1
El crecimiento de la ZMCM, 1940-2000



Fuente: Elaboración Propia con datos de GDF (2002) y de INEGI (2002)

En la década de los setenta, la capacidad de alojamiento en el DF y en específico de sus delegaciones centrales se agota, reflejándose en un bajo ritmo de crecimiento de la población en estas zonas mientras la ciudad se expandía hacia el EM. En las dos últimas décadas, el crecimiento demográfico de la ZMCM se ha visto marcado por un claro proceso de urbanización en los municipios del EM, donde la población ha aumentado a un 2.47% anual, mucho mayor que la tasa anual de 0.35% a la cual ha crecido la población que habita en el DF. Para el año 2000 por primera vez la participación de los municipios del EM es mayor al 50% en la población total de la ZMCM, mientras la descentralización en la Ciudad de México es tal que en delegaciones históricamente centrales de la capital del país como Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza y Benito Juárez la población ha decrecido a tasas de hasta 1.44% anual, al tiempo que en algunos municipios del EM como

Ixtapaluca y Chimalhuacán la población creció a 8.1% y 7.37% anual, respectivamente, entre 1990 y 2000.

A pesar de las altas tasas de crecimiento demográfico observadas entre 1990 y 2000 en los municipios conurbados del EM en su conjunto (2.95%), el crecimiento de la ZMCM ha sido más bajo que el nacional (1.64% y 1.84% respectivamente) en el mismo periodo debido al bajo ritmo de crecimiento dentro de los límites geopolíticos del DF (0.44%). Tal proceso es común hallarlo en ciudades superpobladas que están por alcanzar un punto de saturación tanto económica, como social y demográficamente³.

La expansión de la población, y con ello de sus actividades, hacia la periferia de la zona genera entre otros fenómenos un patrón de viajes con distancias mucho más largas que más allá de tiempos más prolongados invertidos en traslados, representan mayores consumos energéticos e incrementos en las emisiones contaminantes expulsadas a la atmósfera.

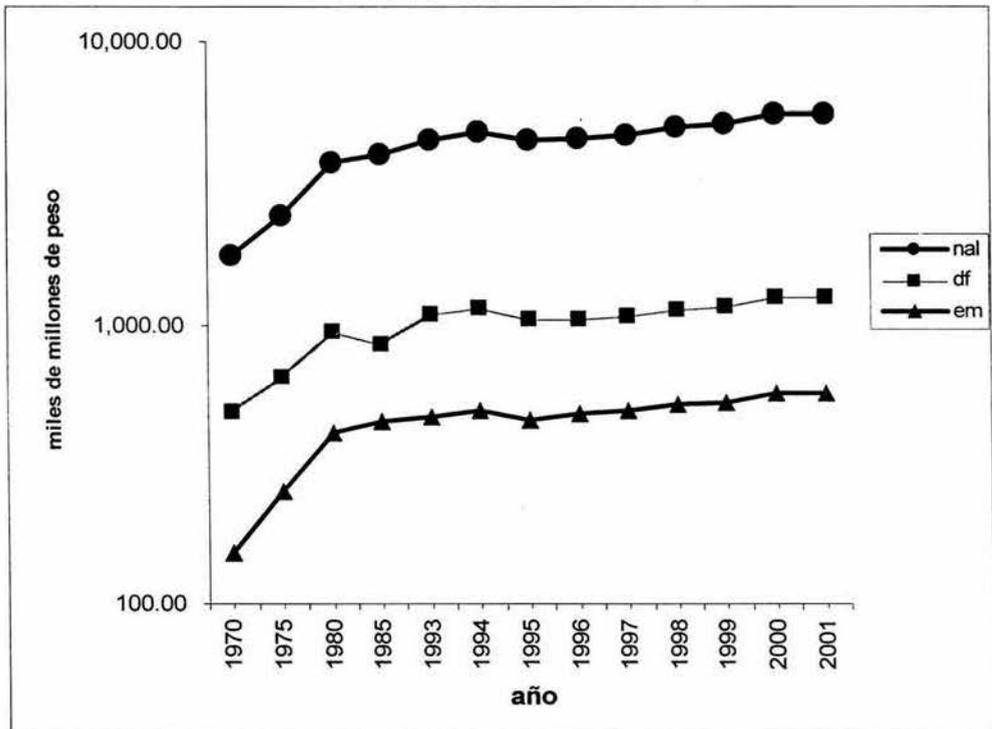
1.1.2 Economía

La economía de la ZMCM representa una gran porción de la economía del país e igual que esta última se encuentra empapada de altibajos en el tiempo y desigualdades entre sus sectores. En 2001, el PIB del EM y del DF juntos representaron casi la tercera parte del PIB total nacional, de la cual el EM participo con 10.13% y el DF con 22.54%. A pesar de que la participación del DF es dos veces más grande que la del EM, el primero ha mantenido una tendencia a la baja en su participación en el total de la actividad económica

³ En el reporte del Comité Europeo de Ministros de Transporte, ECMT(2001a), se señala a la suburbanización como uno de los principales problemas para el transporte urbano de las ciudades europeas.

desde 1970 cuando representaba el 27% de la economía del país, mientras el EM aumentó su participación de 8.62% a 11.1% entre 1970 y 1985 para retroceder finalmente a los niveles actuales. Esta tendencia puede ser explicada por la industrialización que ha ocurrido en otras zonas del país como los estados fronterizos y los de reciente industrialización como Aguascalientes, Querétaro y San Luis Potosí. Las reducciones en sus participaciones dentro del PIB Nacional, no impiden que tanto el PIB del EM y del DF hayan crecido en este periodo, la siguiente gráfica nos muestra como se ha comportado en el tiempo esta variable en estos estados y se compara con el PIB nacional.

Gráfica 1.2
PIB Nacional, EM y DF 1970-2001



Fuente: Elaboración propia con datos de Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM) en www.inegi.gob.mx

En la gráfica anterior podemos notar una caída del PIB nacional y del DF entre 1980 y 1985 producto de la crisis que marcó el sexenio de crecimiento nulo (1980-1986), pero por otro lado el PIB del EM se incrementó. Para los años siguientes, de 1993 a 2001, el crecimiento del PIB ha sido muy bajo con una nueva caída substancial en 1995. Aunque entre 1970 y 2001 hay un crecimiento considerable de la economía a nivel nacional y en ambos estados, en el periodo 1980-2001 que es el que estudiamos en este trabajo, el tenor ha sido un crecimiento bajo con tasas anuales de 1.9% para el país, 1.5% para el EM y 1.4% para el DF. En este mismo periodo la población creció al 1.32% anual en la ZMCM (2.47% en el EM y 0.35% en el DF) por lo cual el PIB per cápita en el EM disminuyó a una tasa anual de 0.8% y el del DF creció a una tasa de 1%. A manera de ilustración, el PIB per cápita del DF es comparable al de Portugal o la mitad del de Francia, mientras el del EM es muy cercano al del promedio nacional o a una sexta parte del de Estados Unidos.

La estructura de las economías de ambos estados se compara en los siguientes cuadros donde se observan las diferencias en participación por sector entre 1980 y 2001.

Cuadro 1.1.
PIB del DF por Gran División 1980-2001.

| PERIODO | GD1 | GD2 | GD3 | GD4 | GD5 | GD6 | GD7 | GD8 | GD9 |
|-------------------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980 | 0.25 | 0.69 | 26.97 | 5.49 | 0.58 | 25.67 | 7.96 | 8.38 | 25.98 |
| 2001 | 0.10 | 0.09 | 15.92 | 5.80 | 0.29 | 19.74 | 12.43 | 11.09 | 39.19 |
| Diferencia | -0.15 | -0.60 | -11.05 | 0.31 | -0.29 | -5.93 | 4.47 | 2.71 | 13.21 |

Fuente: Elaboración propia con datos de SCNM en www.inegi.gob.mx

GD1: Agropecuario, Silvicultura y Pesca; GD2: Minería; GD3: Industria Manufacturera; GD4: Construcción; GD5: Electricidad, Gas y Agua; GD6 Comercio, Restaurantes y Hoteles; GD7: Transporte, Almacenamiento y Comunicaciones; GD8: Servicios Financieros, Seguros y Bienes Inmuebles; GD9: Servicios Comunes, Sociales y Personales

Cuadro 1.2.
PIB del EM por Gran División 1980-2001.

| PERIODO | GD1 | GD2 | GD3 | GD4 | GD5 | GD6 | GD7 | GD8 | GD9 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1980 | 4.77 | 0.44 | 38.06 | 8.32 | 1.03 | 23.70 | 5.63 | 6.54 | 11.95 |
| 2001 | 1.94 | 0.27 | 30.94 | 3.51 | 0.58 | 20.37 | 9.75 | 13.92 | 19.49 |
| Diferencia | -2.83 | -0.17 | -7.12 | -4.81 | -0.45 | -3.33 | 4.12 | 7.38 | 7.54 |

Fuente: Elaboración propia con datos de SCNM en www.inegi.gob.mx

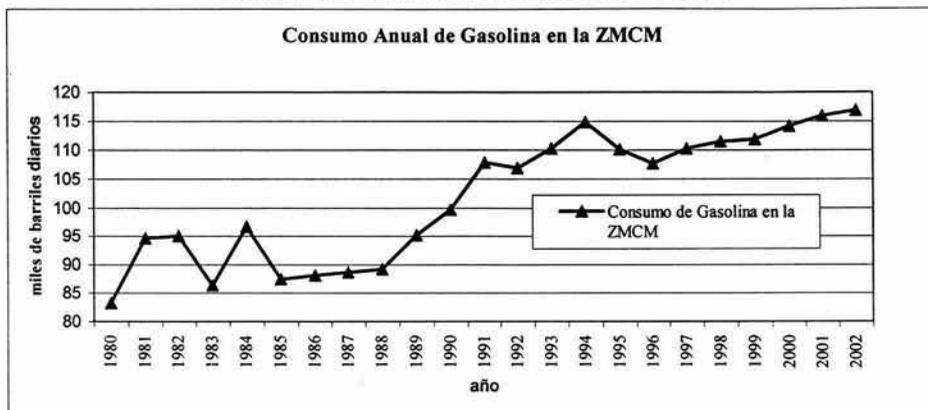
GD1: Agropecuario, Silvicultura y Pesca; GD2: Minería; GD3: Industria Manufacturera; GD4: Construcción; GD5: Electricidad, Gas y Agua; GD6 Comercio, Restaurantes y Hoteles; GD7: Transporte, Almacenamiento y Comunicaciones; GD8: Servicios Financieros, Seguros y Bienes Inmuebles; GD9: Servicios Comunales, Sociales y Personales

Los dos estados tuvieron en este periodo una dinámica muy similar, difiriendo solamente en lo ocurrido en la GD4 que en el DF aumentó su participación casi imperceptiblemente pero que en el EM disminuyó en 4.81 puntos porcentuales. Las tres Grandes Divisiones que incrementaron notablemente su participación son GD7, GD8 y GD9 mientras disminuyeron todas las demás excepto GD4 como ya se mencionó en el caso del DF. Las reducciones más importantes en participación son las de GD1 y GD4 en EM y GD3 y GD6 en ambos estados. La mayor participación de las GD7, GD8 y GD9 a costa de la GD1, GD3 y GD6 es resultado de una clara tendencia hacia la especialización en el sector servicios de las grandes urbes que se abastecen de los productos provenientes de otras regiones agrícolas e industrializadas.

1.1.3 Consumo de Gasolinas en la ZMCM

El consumo de gasolinas dentro de la ZMCM ha ido en aumento a la par de la expansión demográfica de la zona y de su incipiente crecimiento económico. La siguiente gráfica nos muestra el comportamiento histórico entre 1980 y 2002 de esta variable.

Gráfica 1.3
Consumo de Gasolina en la ZMCM 1980-2002

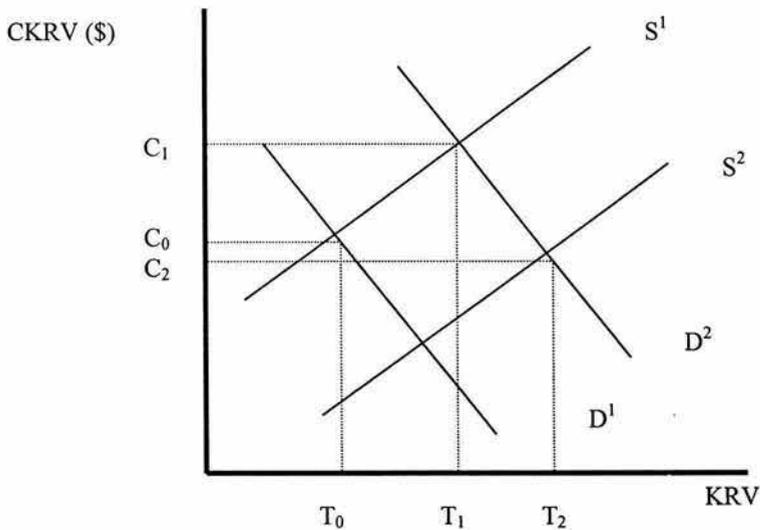


Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX Refinación (2003)

La dinámica del consumo de gasolinas en el Valle de México que creció entre 1980 y 2002 a una tasa anual de 1.55% muestra en el periodo un comportamiento muy similar al que presenta el nivel de actividad económica (1.4% anual) como puede observarse en las caídas de 1983 y 1985 y los incrementos hasta 1995 cuando vuelve a caer para después mantener de nuevo una trayectoria de crecimiento. Las correlaciones entre el consumo de gasolina y su precio y la actividad económica son usualmente negativas y positivas respectivamente, sin embargo estas no son las únicas variables que afectan el comportamiento del consumo de gasolinas en la ZMCM, la capacidad vial es otro incentivo que recibe el consumidor de gasolina, ya que es la creciente oferta vial la que permite alojar más automóviles o realizar más viajes. Sin los incrementos en la infraestructura vial, el consumo de gasolina habría dejado de crecer en algún momento pues solo hay que imaginar la cantidad de demanda de viajes que se tiene actualmente sin contar con los ejes viales ni con el Periférico y Circuito Interior prácticamente terminados. Los costos asociados a los viajes en auto sin tal infraestructura serían exorbitantes y la gente habría tenido que optar por otra alternativa

para trasladarse o no hacerlo en lo absoluto. En la siguiente gráfica se ofrece una explicación de lo que se acaba de describir.

Gráfica 1.4
Costos de Traslado Con y Sin Incrementos en la Red Vial



La curva que relaciona inversamente los costos por kilómetro recorrido en vehículo (CKRV) y los kilómetros recorridos en vehículo (KRV) es la función de demanda (D), esta nos dice que a menores costos, entre los más importantes el precio de la gasolina y tiempo de traslado, los KRV serán mayores. La curva de oferta (S), es ascendente ya que relaciona el uso de la red vial con el costo por usarla. Cuanto más se usa, mayor congestiónamiento, mayores los tiempos de traslado y mayores los costos. El incremento en la demanda de viajes producto del crecimiento del ingreso per cápita y de la población (de D^1 a D^2)

acompañada de una capacidad vial constante (curva S^1) habría conducido a la ciudad a costos muy altos por viajar representados por C_1 a un nivel de tráfico de T_1 , mientras que con los incrementos en la capacidad vial (curva S^2), los costos pudieron mantenerse constantes o más bajos con un nivel de tráfico mayor (C_2 y T_2). Para nuestro análisis bastará cambiar KRV por consumo de gasolina ya que son variables que finalmente muestran lo mismo, aunque habrá que tomar en cuenta los distintos niveles de rendimiento promedio en cada año, ya que es evidente que en 1980 x número de litros de gasolina no rendían lo mismo que hoy en día en que contamos con una flota vehicular que incorpora nuevas tecnologías ahorradoras de combustible cada año.

1.2 El transporte en el desarrollo de las ciudades y la ZMCM

La disponibilidad de medios de transporte y vías de comunicación es para las ciudades un aspecto primordial e imprescindible para su desarrollo y buen funcionamiento. Una ciudad no solo debe funcionar sino que debe hacerlo eficientemente, de lo contrario estaría provocando costos que eventualmente superarían a los beneficios que sus habitantes obtienen de la amplia oferta de centros de trabajo, comerciales y de entretenimiento, así como actividades culturales y valores estéticos diversos por mencionar algunas ventajas.

En el cuadro 1.3 no debe extrañarnos que los viajes de regreso al *hogar* representen alrededor de la mitad del total de viajes ya que simplemente son una consecuencia de los demás. De los datos se desprende que en realidad no hay diferencias considerables entre ambos años, excepto por los viajes al *hogar* que en los datos de 1994 podrían completarse

con viajes a *otros*, y los de *escuela* que se complementarían con *llevar pasajeros* que usualmente son menores llevados a las escuelas.

Cuadro 1.3
Motivos de Viaje en la ZMCM
1983-1994 (en porcentaje)

| | 1983 | 1994 |
|---------------------------|------|-------|
| Hogar | 48.9 | 45.6 |
| Trabajo | 25.2 | 24.4 |
| Escuela | 17.6 | 13.9 |
| Compras | 3.9 | 4.3 |
| Social y diversión | 3.7 | 3.5 |
| Llevar pasajeros | 0.7 | 4.2 |
| Otro | - | 4.2 |
| Total | 100 | 100.0 |

Fuente: Elaboración Propia con datos de
Anuario de Transporte y Vialidad del
DDF 1984 y 1995

Sin contar los viajes al *hogar*, la mitad de los viajes son realizados al *trabajo*, mientras un 35% aproximadamente son hacia la *escuela*. Los viajes para *compras*, *sociales* y *diversión* sumarían el 15% restante de la generación de viajes. Esta distribución no habría cambiado en una década realizando las adecuaciones pertinentes a los conceptos incluidos.

Así, el transporte resulta ser un aspecto central para la realización de las actividades diarias en una urbe. Su función debe ser la de acortar distancias y reducir los costos relacionados al tiempo e inconvenientes de los recorridos⁴. Sin embargo, eso no es necesariamente cierto en todos los proyectos para ampliar los servicios de los sistemas de transporte de las metrópolis, pues muchas veces la construcción de una nueva vialidad solo va extendiendo más la mancha urbana, dando como resultado que aunque haya más kilómetros en

⁴ Esto no resulta tan evidente en una metrópoli donde el 25% de los pasajeros invierten 4 horas o más diariamente para trasladarse (Fernández, 2001)

vialidades, las distancias son más largas y el tiempo invertido en desplazamientos es el mismo o hasta mayor. Aún más, estas ampliaciones a la red vial pueden traer como consecuencia en el mediano plazo cuellos de botella en algunas avenidas que no experimentaron ampliaciones debido a los incrementos en los niveles generales de tráfico.

Parece ser que el futuro del transporte en la densamente poblada ZMCM solo será sustentable en la medida en que se generen la infraestructura y los incentivos necesarios para que se oriente cada vez más la estructura modal hacia un transporte masivo que incorpore las tecnologías más limpias. Incrementos indefinidos en las vías de comunicación a consecuencia del crecimiento demográfico y económico no es la respuesta a la problemática vial de la ZMCM pues se incentivan los viajes individuales en auto privado, causantes en gran medida de la contaminación del aire y de los congestionamientos⁵. Tan solo hay que observar las calles y avenidas de la ZMCM para corroborar que la mayoría de los autos no transportan más que a su conductor⁶. Se pierde eficiencia en cuanto a la utilización de recursos, energía y espacio a la vez que se generan costos evitables de contaminación, tiempo y salud.

La ZMCM reclama urgentemente programas encaminados hacia la utilización del transporte público masivo y este deberá acercar los orígenes y destinos que se han alejado por la falta de un transporte que evite los congestionamientos de las avenidas⁷. Más allá del Tren Ligero, el Trolebús y el Metro, existen algunas otras alternativas que se han puesto en

⁵ Es claro que en los congestionamientos el transporte público privado juega un papel muy importante también.

⁶ En promedio cada viaje en auto privado transporta 1.5 personas (GDF, 2002).

⁷ Aquí me refiero tanto a un ensanchamiento espacial como al incremento en el tiempo de recorrido para un mismo tramo o las nuevas rutas de viaje generadas como resultado de la expansión de la ciudad.

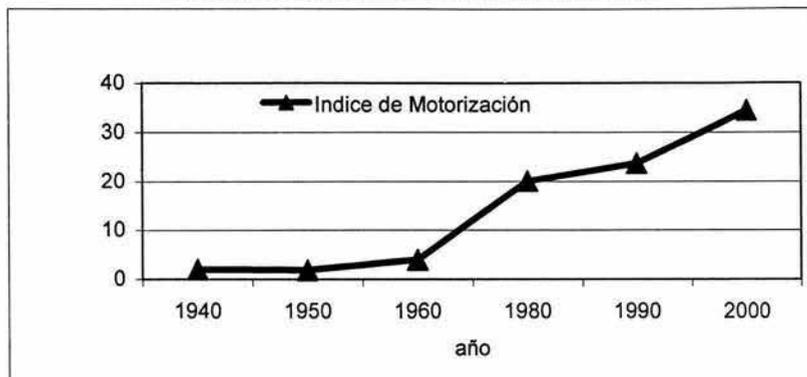
marcha en grandes ciudades como los trenes elevados, autobuses y trolebuses que circulan ya sea en contrasentido o en algún carril exclusivo reduciendo de esta manera los tiempos de recorrido y convirtiendo estos medios más atractivos comparados con el cada vez más estresante uso del automóvil.

Por otro lado no se pueden negar las ventajas de conducir un auto propio, sentado cómodamente sin necesidad de forcejeos para subir o bajar de él, escuchando la música de su elección, con ambiente y temperaturas particulares, además del valor intrínseco que en muchos produce el ser propietario de un auto. Sin embargo, parte del análisis posterior a este trabajo tratará sobre qué tanto estos beneficios pueden compensar los costos derivados del uso excesivo del automóvil, dentro de los cuales se pueden contar el estrés, los accidentes, la contaminación, la salud y los distintos costos pecuniarios como su precio, los gastos en gasolina, impuestos, estacionamiento y diversos consumibles.

1.3 Distribución Modal en la ZMCM

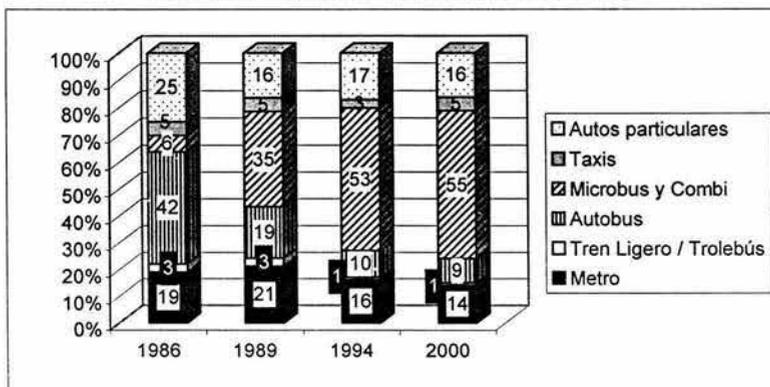
Los medios que los capitalinos o los habitantes de la ZMCM utilizan para transportarse ha ido inclinándose hacia medios de baja y mediana capacidad debido en gran medida a la oferta prácticamente ilimitada de rutas que representan los Microbuses y a la motorización de la región, es decir al incremento en la proporción automóviles particulares por habitante. En la gráfica 1.5 se puede ver con claridad el incremento experimentado en el índice de motorización, que solamente entre 1980 y 2000 pasó de 20 a 35 autos por cada 100 habitantes. Por su parte la gráfica 1.6 nos muestra el patrón de viajes por modo entre 1986 y 2000.

Gráfica 1.5
Motorización en el Distrito Federal 1940-2000



Fuente: Elaboración propia con datos de *Anuario de Transporte y Vialidad* del DDF y GDF (varios años) y de INEGI (2001)

Gráfica 1.6
Distribución Modal en la ZMCM 1986-2000



Fuente: Elaboración propia con datos de GDF (2002)

Como habíamos mencionado, ha disminuido la proporción del uso de medios de transporte masivos como el Sistema de Transporte Colectivo (Metro), el Tren Ligero y el Trolebús, así como el autobús clasificado como de mediana capacidad. El modo de transporte que ha ganado terreno a costa de todos los demás ha sido el transporte público-privado de baja

capacidad representado por los microbuses y combis. Este modo de transporte también conocido como *colectivos* surge en la década de los 50 y se legaliza en los 60. Inicialmente no contaban con rutas predeterminadas y simplemente funcionaban como taxis compartidos. En los 70 se les autorizan rutas específicas con el fin de alimentar a las estaciones del Metro y a inicios de los 80 los sedán son reemplazados por combis. Más tarde, en los 90, las combis van cediendo su lugar a microbuses que actualmente concentran la mayor parte de los pasajeros. Las causas del crecimiento de este singular e ineficiente modo de transporte han sido varias en su historia, entre ellas, la liberalización económica, la incapacidad institucional para regularlos, la falta de recursos para invertir en un transporte público del estado, la bancarrota en 1995 de la Ruta 100 y el extraordinario poder que han alcanzado las organizaciones de propietarios.

Por su parte, el Metro que comenzó sus operaciones en 1969 con 11 kms de líneas y que en la actualidad suma 192.8 kms también ha visto disminuir su participación modal desde 1989, año el que transportaba el 21% de los viajes-persona.

Mientras el Metro representa en la actualidad el 14% de los viajes persona realizados, el otro sistema masivo de transporte, conformado por el Tren ligero y el Trolebús, también ha reducido su participación modal que en 1986 fue del 3% y hoy es solo del 1%. El Sistema de Tren Ligero, puesto en marcha en 1992 con 13 km, es el caso que más llama la atención pues no solo ha disminuido en su participación dentro del sistema de transporte de la zona sino también en términos reales desde 1997.

Queda claro que la marcada tendencia hacia la movilidad de baja capacidad en el transporte público, origen de gran parte del caos vial y de una buena parte de las emisiones contaminantes expulsadas a la atmósfera, ha sido producto de los factores mencionados anteriormente. Sin embargo, cabe mencionar también, que han sido estos medios con sus 22mil km de rutas comparados a los 422 km del Trolebus, 192 km de Metro y 13 km de Tren Ligero, los que han proporcionado una oferta de transporte para millones de metropolitanos cubriendo prácticamente cada rincón de la zona.

Por su parte, tanto en cuestiones de movilidad como de contaminación, los automóviles particulares se han convertido en un modo de transporte que genera gran parte de la problemática urbana como la ocupación de avenidas por autos estacionados, accidentes, emisiones, y una extraordinaria baja proporción de viajes persona por viaje. En otras palabras, son fuente de una serie de ineficiencias de tipo ambiental, temporal, espacial y energética. Entre uno y dos tercios de algunas vialidades principales están ocupadas por automóviles estacionados, los cuales representan el 72% de los vehículos registrados en la ZMCM. Por otra parte, cada pasajero-km (p-km) transportado en automóvil particular significa 3.59 Mega Joules (MJ) consumidos mientras cada p-km en Metro requiere solo de 0.15MJ. Los microbuses y combis que han desplazado a la R-100 en participación modal requieren de 1MJ y 0.9 MJ respectivamente por p-km comparado con 0.45MJ por p-km en R-100 (Scheinbaum, *et al.* 1994, p.112). Más adelante en este mismo capítulo observaremos como son precisamente los vehículos de baja capacidad, y en especial el automóvil particular, los que más han contribuido al deterioro de la calidad del aire en la ZMCM.

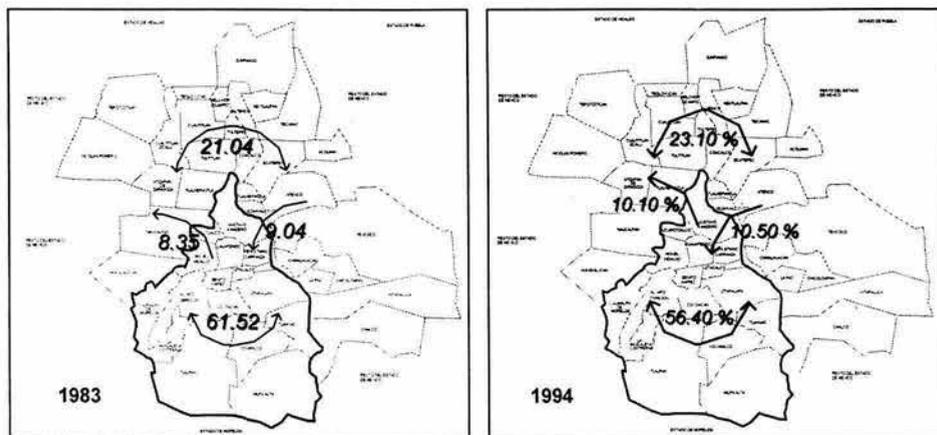
En 1979 los automóviles transportaban en promedio 1.8 personas por viaje, actualmente esa cantidad se ha reducido a 1.5 ya que aproximadamente el 60% de los automóviles transportan solo a su conductor, siendo en el Periférico la proporción más alarmante: el 83% de los vehículos solo transportan a quien los conduce. Por otro lado, las velocidades de viaje son de menos de 20km/hr en la mayor parte de las vías rápidas y el Nivel de Servicio (NDS) es inestable en el 73% de las intersecciones⁸. Este resultado no debe sorprender a la mayor parte de los automovilistas quienes parten de sus orígenes por lo menos una hora antes de la hora en que pretenden llegar a su destino, aún cuando este se encuentre a 10 o 15 kms de distancia.

Como ya se había mencionado en la sección 1.1, el crecimiento de la zona conurbada ha sido más acelerado comparado a las tasas de crecimiento demográfico nacional y del DF. Esta dinámica ha conducido a un patrón de viajes que involucran a una mayor cantidad de orígenes y destinos y que sobre todo resultan más largos.

En el mapa 1.1 se observa la proporción de viajes que se realiza dentro de las delegaciones, dentro de los municipios y los metropolitanos (de un municipio a una delegación o viceversa). En 1983 el 61.52% de los viajes de la ZMCM se realizaban dentro del DF y el 21% en el EM, el resto, 17.44% eran viajes metropolitanos. Para 1994 estos últimos habían aumentado en participación, llegando al 20.6% de los viajes en la ZMCM. Los viajes en el EM también aumentaron a 23%, a la vez que los viajes que se hacían entre las delegaciones disminuyó a 56.4%.

⁸ GDF, 2002; Gakenheimer, *et al.*, 2002

Mapa 1.1
Distribución de Viajes dentro de la ZMCM por origen y destino



Fuente: GDF (2002)

Del mapa se infiere también que en 1994 el 66% de los 20.6 millones de viajes en la ZMCM se generan en el DF. La delegación que más viajes atrajo fue la Cuauhtémoc, mientras las principales generadoras fueron Iztapalapa y el municipio de Ecatepec.

Del total de viajes, el 33.9% requieren de un transbordo, casi ninguno en transporte privado. Es decir, cerca del 50% de los viajes realizados en transporte público requieren mínimo de un cambio de medio. Finalmente, el número de viajes por persona que viaja en la ZMCM fue de 2.52 en 1994, mientras en tramos de viaje esta proporción fue de 3.58, esta diferencia esta evidentemente relacionada con el dato anterior sobre transbordos.

1.4 Vialidades en la ZMCM

El sistema vial de la Ciudad de México se encuentra conformado en la actualidad por dos anillos concéntricos: el Periférico y el Circuito Interior, cinco vías radiales: Calzada Ignacio

Zaragoza, Aquiles Serdán, Río San Joaquín, Av. Gran Canal y Calzada de Tlalpan. La red vial primaria se complementa con una serie de ejes cruzan de norte a sur y de oriente a poniente toda la ciudad y algunas avenidas importantes como Insurgentes , División del Norte y Reforma, entre otras. El resto es vialidad secundaria y terciaria. A continuación se explica brevemente cada uno de los tipos de vialidades.

1.4.1 Red Vial de la Ciudad de México en la actualidad⁹

Las vías rápidas más largas con que cuenta el DF son los anillos concéntricos Periférico y Circuito Interior; y la Calzada de Tlalpan, las cuales pueden apreciarse en el mapa 1.2.

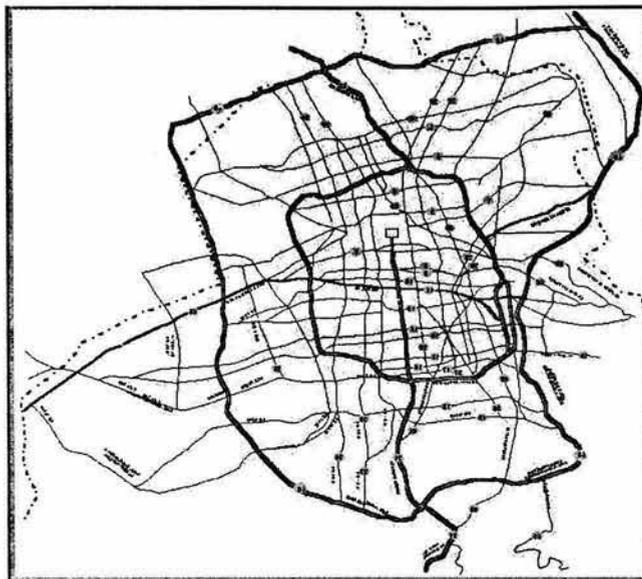
Cuadro 1.4
Inventario de la Infraestructura Vial del Distrito Federal (Kms)

| Vialidad | Totales |
|--|------------------|
| Periférico | 58.83 |
| Circuito Interior | 42.98 |
| Calzada de Tlalpan | 17.70 |
| Viaducto | 12.25 |
| Viaducto R. Becerra | 1.87 |
| Calzada I Zaragoza | 14.12 |
| Radial Aquiles Serdán | 9.80 |
| Radial Río San Joaquín | 5.46 |
| Gran Canal | 8.41 |
| Subtotal | 171.42 |
| Ejes Viales | 421.16 |
| Arterias Principales | 320.57 |
| Total de la Vialidad Primaria | 913.15 |
| Total de la Vialidad Secundaria | 9,269.06 |
| RED VIALTOTAL | 10,182.21 |

Fuente: GDF (2002)

⁹El contenido de esta sección, así como la incluida en el cuadro B.1. del Apéndice Estadístico se toma de GDF(2002).

Mapa 1.2
Red Vial de la Ciudad de México



Fuente: GDF, (2002)

El DF cuenta con una red vial cuya longitud es cercana a los 10 mil 200 kilómetros, de ésta cerca del 9% (913 kilómetros) corresponde a la vialidad primaria, formada por las vías de acceso controlado (171.42 kilómetros), los ejes viales (421.16 kilómetros)¹⁰ y las arterias principales (320.57 kilómetros). El resto, poco más de 9 mil 269 kilómetros, corresponde a la vialidad secundaria.

1.4.1.1 Red vial primaria

- **Vías de acceso controlado:** Son vialidades que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito vehicular, cuentan con accesos y salidas a los carriles centrales en lugares de mayor demanda y en su enlace con vialidades importantes,

¹⁰ De los cuales hay construidos en la actualidad solamente 328.60 Km.

cuentan con distribuidores viales o pasos a desnivel; son consideradas la columna vertebral de la red vial y son las siguientes

- *Vías anulares*: Son Anillo Periférico y Circuito Interior, éstas tienen la función primordial, en la movilidad de la Ciudad, de distribuir el tránsito de largo recorrido.
- *Los Viaductos*: Son vías de acceso controlado y flujo continuo cuya función es comunicar altas demandas de viajes a puntos específicos de la Ciudad, éstos son el Viaducto Miguel Alemán, Río Becerra y Viaducto Tlalpan.
- *Vías radiales*: Son vialidades de circulación continua que satisfacen la demanda de viajes que tienen como origen o destino el centro de la Ciudad. Las vías radiales son Calzada Ignacio Zaragoza, Aquiles Serdán, Río San Joaquín, Av. Gran Canal y Calzada de Tlalpan.
- Ejes viales: Son vialidades semaforizadas que forman una retícula a todo lo largo y ancho de la Ciudad. Esta red fue diseñada con carriles exclusivos para autobuses del transporte público en el sentido preferencial y en contra flujo, permitiendo la comunicación directa al Metro. Los ejes viales son 31, con una longitud total planeada de 514 kilómetros de los cuales, de acuerdo con el Plan Rector de Vialidad de la Ciudad de México, actualmente hay construidos únicamente 328.60 kilómetros, que se distribuyen de la siguiente forma: 6 al norte, 10 al sur, 7 al oriente, 7 al poniente y el Eje Central.

- **Arterias principales:** Son vías que por sus características geométricas y su capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes. Estas vialidades, de las cuales la más larga es Insurgentes con 34 km, complementan la estructura de la red vial primaria y se caracterizan por su continuidad y sección transversal constante. En el oriente existe una amplia red, a diferencia de las zonas sur-poniente y nor-poniente donde su número es reducido debido a la accidentada topografía.

1.4.1.2 Red vial secundaria

Son vías colectoras que enlazan a los diferentes centros urbanos con la red vial primaria, se estima en 9 mil 557 kilómetros de longitud.

1.4.1.3 Red vial terciaria

Son vías no continuas que facilitan la movilidad dentro de las zonas habitacionales o predios particulares, su estructura no está diseñada para recibir tránsito intenso y pesado.

1.4.2 Desarrollo de la Red Vial en la Ciudad de México

La avenida Insurgentes se trazó en la década de los 40, en la misma época en la que se tuvieron que ensanchar y prolongar avenidas como el Eje Lázaro Cárdenas y Avenida 20 de Noviembre con el fin de comunicar las nacientes colonias con el centro de la ciudad. Las primeras vías de acceso controlado como el Viaducto Miguel Alemán y la Calzada de

Tlalpan se construyen prácticamente en su totalidad entre las décadas de los 50 y 60. En los 60 también se concluye gran parte del Periférico: 42 kilómetros, de Toreo a Cuernavaca. Más adelante en los setenta se comienza la construcción del Circuito Interior y de las radiales Río San Joaquín y Aquiles Serdán. La construcción de los Ejes Viales se inicia en 1979 con 113 km que para 1982 ya sumaban 252 km de una planeación de 536 km. Durante los noventa y el nuevo milenio, los esfuerzos se concentran en concluir el Periférico y la red de ejes viales, así como pasos a desnivel y distribuidores viales.

Cuadro 1.5
Vías de acceso controlado y Ejes Viales

| Vía | Año en que se inicia su construcción |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Viaducto Miguel Alemán | 1952 |
| Tlalpan | 1959 |
| Periférico | 1962 |
| Circuito Interior | 1972 |
| Radial Aquiles Serdán | 1972 |
| Radial Río San Joaquín | 1972 |
| Insurgentes Norte | 1981 |
| Ejes Viales (1era Etapa) | 1979 |
| Ejes Viales (2da Etapa) | 1980 |
| Ejes Viales (continuación) | 1983 |
| Calzada Ignacio Zaragoza | 1991 |
| Avenida Gran Canal | 1995 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *Anuario de Transporte y Vialidad* del DDF y GDF (varios números)

En el cuadro 1.5 se presenta una breve semblanza de la ampliación de la red vial en la Ciudad de México. Cabe mencionar que de las vialidades incluidas no todas se han completado aún de acuerdo a su planeación original y que en el cuadro solo se presenta el año de inicio de la obra por lo que de este cuadro no se podría concluir que en los 90 no ha habido incrementos a la red vial. Lo que sucede es que en esta última década los trabajos han sido de conclusión y no de inicio.

1.5 Contaminación en la ZMCM

Los niveles de contaminación del aire no son solo producto de las emisiones derivadas de procesos industriales, naturales o de transportación, otros dos factores decisivos son las condiciones topográficas y meteorológicas de la región. El caso de la ZMCM representa un doble riesgo ya que estas últimas son propicias para la concentración de emisiones y cuenta además con la mayor concentración urbana e industrial del país. Ello en conjunto ha dado lugar a los actuales niveles de contaminación, inadmisibles para los estándares internacionales de salud pública.

Del cuadro 1.6 vemos que aún cuando el 99% de la atmósfera se encuentra ocupada por solo dos gases (Nitrógeno y Oxígeno), su composición estable total la constituyen varios gases. Aquellos gases que varían en la proporción que ocupan en la atmósfera son llamados contaminantes y pueden generarse natural o antropogénicamente, entre ellos hay algunos que pueden ser muy dañinos para la salud y el medio ambiente. Por otro lado existen otros contaminantes conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEIs) que aunque no inciden directamente sobre la salud y el medio ambiente, están elevando las temperaturas globales,

lo que pudiera devenir en efectos devastadores de distinta índole sobre nuestro medio ambiente¹¹.

Cuadro 1.6
Composición de la Atmósfera

| | Gas (Símbolo) | Porcentaje por Volumen | Partes por Millón |
|------------------------|---|------------------------|-------------------|
| Gases Estables | Nitrógeno (N ₂) | 78.0840 | |
| | Oxígeno (O ₂) | 20.9460 | |
| | Argón (Ar) | 0.9340 | |
| | Neón (Ne) | 0.0018 | 18.2000 |
| | Helio (He) | 0.0005 | 5.2000 |
| | Criptón (Kr) | 0.0001 | 1.1000 |
| | Hidrógeno(H) | | 0.5000 |
| | Oxido Nitroso (N ₂ O) | | 0.3000 |
| | Xenón (Xe) | | 0.0900 |
| Gases Variables | Vapor de Agua (H ₂ O) | 0.0100 | |
| | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 0.0370 | |
| | Metano (CH ₄) | | 1.5000 |
| | Monóxido de Carbono (CO) | | 0.1000 |
| | Ozono (O ₃) | | 0.0200 |
| | Amoniaco (NH ₃) | | 0.0100 |
| | Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) | | 0.0010 |
| | Dióxido de Azufre (SO ₂) | | 0.0002 |
| | | | |

Fuente: Elaboración Propia en base a Christopherson (2003) y Molina y Molina (2002a)

Algunos contaminantes pueden tener múltiples repercusiones adversas como los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) que son los principales precursores de la lluvia ácida y de formación de ozono (O₃) cada uno con sus correspondientes efectos nocivos sobre la salud, las cosechas y extinción de especies animales y vegetales. En el cuadro 1.7 se presenta el resumen sobre las causas y efectos de los principales contaminantes.

¹¹ Se considera al CO₂ como el causante del 60% del incremento en la temperatura global del siglo XVIII a la fecha. Por otro lado, hay GEIs que no solo tienen consecuencias en el largo plazo como el ozono que tiene también efectos inmediatos muy negativos sobre el medio ambiente y la salud.

Cuadro 1.7
Causas y Efectos de los principales compuestos contaminantes

| Contaminante | Símbolo | Fuente Antropogénica | Efectos y Consecuencias |
|--|-------------------|---|--|
| Monóxido de Carbono | CO | Combustión Incompleta de gasolinas | Desplaza el oxígeno de la corriente sanguínea. Produce dolores de cabeza y pérdida del juicio y la visión |
| Óxidos de Nitrógeno | NO _x | Emisiones de escape y combustión. | Inflama el sistema respiratorio, destruye tejidos pulmonares y daña plantas. Es además un precursor de lluvia ácida y formación de ozono |
| Hidrocarburos | HC | Combustión incompleta de gasolina, emisiones de escape. | Precusores de ozono y cancerígenos. |
| Óxidos de Azufre | SO _x | Combustión de energéticos con azufre | Enfermedades respiratorias y precursores de lluvia ácida. |
| Ozono | O ₃ | Reacciones fotoquímicas | Daño a plantas y pérdidas agrícolas. Irritación de ojos nariz y garganta. |
| Partículas Suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro | PM ₁₀ | Combustión incompleta, polvo de caminos y de viento. | Enfermedades respiratorias y visibilidad reducida. |
| Partículas Suspendidas menores a 2.5 micrómetros de diámetro | PM _{2.5} | Combustión, emisiones por diesel y polvo. | Enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Visibilidad reducida. |
| Plomo | Pb | Gasolina con plomo, pintura. | Daños cerebrales, discapacidades de aprendizaje. |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | Combustión completa principalmente del consumo de combustibles fósiles. | Principal GEI |
| Metano | CH ₄ | Procesos orgánicos | GEI secundario |

Fuente: Elaboración propia con datos de Molina y Molina (2002a), Christopherson (2003)

1.5.1 Características Topográficas y Meteorológicas de la ZMCM

La ZMCM, definida por el INEGI para fines geoestadísticos, está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 34 municipios conurbados del Estado de México, ubicándose en el centro sur del Valle de México. Se sitúa dentro del sistema de coordenadas geográficas entre 19°03' y 19°54' de latitud norte y entre 98°38' y 99°31' de

longitud oeste. Abarca una superficie de 4,925 km² aproximadamente (0.25% del país), de los cuales 1,484 km² corresponden al DF y 3,441 km² a 34 municipios conurbados del estado de México.

El 35.8 % de la ZMCM es llanura, es decir, es plana y no tiene altibajos. Gran parte de la ZMCM presenta alturas que van desde los 2,240 msnm en sus partes planas hasta poco más de los 4,000 msnm (INEGI, 2001).

Los factores que intervienen en los diferentes tipos de climas son: la distancia de una fuente de humedad, la orografía, la latitud, la altitud y la altura. De esta forma, la ZMCM, que se localiza a más de 400 km de la fuente de humedad más cercana y enclavada entre sierras altas, presenta seis tipos de climas que van desde los semisecos hasta los semifríos.

El clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w)), es el que ocupa la mayor superficie al sur del Valle de México y se localiza desde los 2,240 msnm hasta casi los 2,900 msnm de altitud. El clima semiseco templado con lluvias en verano (BS1k) se presenta desde las partes bajas de la ciudad en las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztacalco y los municipios los Reyes Acaquilpan (La Paz) y Nezahualcóyotl, hasta el norte de los municipios de Teotihuacán y Tecámac.

La presión atmosférica disminuye con la altura y con ello la eficiencia en la combustión debido a la menor cantidad de oxígeno a la vez que se incrementan las emisiones volátiles de hidrocarburos de los vehículos. Por otro lado, los frecuentes sistemas subtropicales de

alta presión generadores de capas de inversión térmica¹² fungen como un techo sobre el Valle que atrapa las emisiones contaminantes y dificultan aún más una buena dispersión de las emisiones (Scheinbaum *et al*, 1994; Christopherson, 2003; Molina y Molina, 2002b).

1.5.2 Inventario de Emisiones

Las emisiones pueden provenir de distintas fuentes que de manera muy agregada son dos: antropogénicas (por actividades humanas) y naturales. Ejemplos de las últimas son erupciones volcánicas que emiten grandes cantidades de SO₂, los incendios forestales que liberan CO, CO₂ y NO_x, descomposición de vegetales y erosión natural que principalmente expulsan Metano y polvo a la atmósfera. Sin embargo, es el hombre el causante de la mayor parte de la contaminación del aire. En el siguiente cuadro tenemos una clasificación más específica donde podemos observar la participación en la generación de los diferentes contaminantes por tipo de fuente.

Cuadro 1.8
Inventario de Emisiones por fuente en la ZMCM 1998

| Tipo de Fuente | Emisiones | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|
| | PM ₁₀ | | SO ₂ | | CO | | NO _x | | HC | |
| | ton/año | % | ton/año | % | ton/año | % | ton/año | % | ton/año | % |
| Fuentes Puntuales | 3,093 | 15.55 | 12,442 | 55.40 | 9,213 | 0.52 | 26,988 | 13.11 | 23,980 | 5.05 |
| Fuentes de Área | 1,678 | 8.44 | 5,354 | 23.84 | 25,960 | 1.47 | 9,866 | 4.79 | 247,599 | 52.12 |
| Vegetación y Suelos | 7,985 | 40.15 | N/A | N/A | N/A | N/A | 3,193 | 1.55 | 15,669 | 3.30 |
| Fuentes Móviles | 7,133 | 35.86 | 4,670 | 20.79 | 1,733,663 | 98.01 | 165,838 | 80.55 | 187,773 | 39.53 |
| Total | 19,889 | 100.00 | 22,460 | 100.00 | 1,768,836 | 100.00 | 205,885 | 100.00 | 475,021 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia con datos de CAM, 2001

¹² Los sistemas subtropicales de alta presión despejan el cielo de la ZMCM por las noches invernales permitiendo grandes pérdidas de radiación infrarroja. Para mediodía, después de algunas horas de radiación, se forma la capa de inversión, esta es una capa de aire caliente por encima de aire más frío que no permite una buena mezcla vertical del aire y los contaminantes.

Las emisiones contaminantes de las fuentes móviles, es decir del transporte, representan casi la totalidad del CO, el 81% de los NO_x, el 40% de HC, el 36% de las emisiones de PM₁₀, y una quinta parte del SO₂. Cabe recordar que los NO_x y los HC son los principales precursores de la formación de ozono (O₃) y de la lluvia ácida. Los efectos de cada uno de estos contaminantes puede revisarse en el cuadro 1.7 al inicio de esta sección.

En los vehículos son dos los orígenes principales de las emisiones contaminantes. La mayor parte de estas son las emisiones de compuestos químicos de escape que generalmente inician en combustiones dentro del motor y después pasan por el convertidor catalítico. Por otro lado están las emisiones evaporativas compuestas principalmente de HC. Las emisiones evaporativas se producen no solamente cuando el vehículo está en funcionamiento sino también durante el llenado en gasolineras y durante la producción y distribución de gasolina.

Muchas de las emisiones son mayores cuando la relación aire/gasolina, controlada por el carburador o el sistema de inyección de gasolina, es menor. Esto ocurre cuando el motor es encendido en frío, en aceleraciones, en pendientes pronunciadas y velocidades muy altas (TRB, 1995). Es por ello que las políticas encaminadas a disminuir las emisiones contaminantes derivadas del uso del transporte no solo se deben enfocar a la disminución de KRV sino también a la generación de viajes y a los hábitos de los conductores.¹³ En el siguiente cuadro se presenta de una manera más detallada como se componen las emisiones de las fuentes móviles.

¹³ Las emisiones de CO y HC producto de los encendidos de motor pueden sumar hasta la mitad del total de emisiones de fuentes móviles de estos compuestos (TRB, 1995).

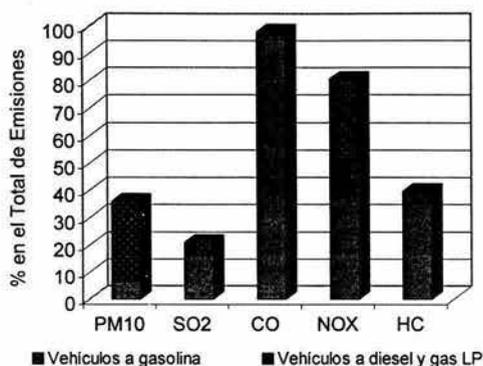
Cuadro 1.9
Inventario de emisiones de fuentes móviles y flota por tipo de vehículo en la ZMCM 1998

| Tipo de Vehículo | Número de Vehículos | Porcentaje de Emisiones | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | | PM ₁₀ | SO ₂ | CO | NO _x | HC |
| Autos Particulares | 2,341,731 | 3.52 | 8.90 | 46.50 | 23.01 | 17.20 |
| Taxis | 109,407 | 1.00 | 2.52 | 7.43 | 5.39 | 3.22 |
| Combis | 5,499 | 0.05 | 0.12 | 1.16 | 0.45 | 0.41 |
| Microbuses | 32,029 | 0.30 | 0.74 | 12.25 | 4.63 | 4.16 |
| PickUp | 336,080 | 0.92 | 2.32 | 14.44 | 9.21 | 5.18 |
| Camiones de carga a gasolina | 154,513 | 0.42 | 1.07 | 12.26 | 7.43 | 3.93 |
| Vehículos a diesel < 3 tons | 4,733 | 0.67 | 0.11 | 0.01 | 0.07 | 0.04 |
| Tractocamiones a diesel | 70,676 | 10.01 | 1.62 | 0.94 | 11.01 | 1.60 |
| Autobuses a diesel | 12,505 | 5.90 | 0.95 | 0.52 | 5.65 | 0.81 |
| Vehículos a diesel > 3 tons | 90,940 | 12.88 | 2.08 | 1.18 | 13.44 | 1.94 |
| Camiones de carga a gas LP | 30,102 | 0.08 | 0.07 | 0.02 | 0.15 | 0.05 |
| Motocicletas | 72,704 | 0.11 | 0.28 | 1.28 | 0.10 | 1.00 |
| Total Fuentes Móviles | 3,260,919 | 35.86 | 20.79 | 98.01 | 80.55 | 39.53 |

Fuente: Elaboración propia con datos de CAM, 2001

Los autos particulares representan el 72% de la flota vehicular de la ZMCM y son los causantes de un gran porcentaje de las emisiones totales de CO, NO_x y HC (46%, 23% y 9% respectivamente) y en menor medida de SO₂ y PM₁₀. Las emisiones de CO más allá de lo mencionado anteriormente son causantes indirectos del calentamiento global ya que por distintas reacciones dan lugar a incrementos de CH₄ y O₃. Es justamente este último compuesto el más dañino y permanente de las emisiones provocadas por el transporte. En la gráfica 1.7 se observa como en las emisiones de fuentes móviles los vehículos a gasolina contribuyen con la mayor parte en todos los contaminantes excepto en PM₁₀ donde los vehículos a diesel emiten casi el 30% del total. Esto obviamente está ligado también a que un gran porcentaje de la flota vehicular pertenece a automóviles privados, taxis, microbuses, pick up y combis que funcionan a base de gasolina.

Gráfica 1.7
Participación en las emisiones de contaminantes criterio



Fuente: Elaboración propia con datos de CAM (2001)

Resulta evidente de cualquier manera que para atacar el problema de la contaminación del aire en la ZMCM será necesario disminuir el uso de los vehículos que más contribuyen al deterioro ambiental que además son los que trasladan menos pasajeros-km por viaje como ya vimos en una sección anterior. Es decir, contaminan más a la vez que generan menos viajes por KRV, litro de gasolina consumido y emisión contaminante vertida a la atmósfera.

1.5.3 Medición de la contaminación en la ZMCM

Las emisiones de los contaminantes criterio son medidas en la ZMCM por una red de monitoreo y los resultados son traducidos a un índice que facilita la interpretación de los niveles de contaminación en términos de daños a la salud.

1.5.3.1 Red automática y manual de monitoreo atmosférico (RAMA)

En la ZMCM la concentración de los contaminantes en el aire se registra por medio de una red de monitoreo atmosférico, la cual cubre el área del Distrito Federal y parte del Estado de México. La red automática está integrada por 32 estaciones de monitoreo que miden las

concentraciones de los contaminantes durante los 365 días del año y emiten un reporte cada hora; en estas estaciones se miden ozono (O_3), bióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2) y partículas menores a 10 micras (PM_{10}). A su vez, la red manual cuenta con 12 estaciones donde se miden las partículas suspendidas totales (PST), PM_{10} , plomo (Pb), manganeso (Mn), nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4).

1.5.3.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), utiliza una ecuación matemática lineal de transformación que considera las normas de calidad del aire para O_3 , NO_2 , SO_2 y CO basadas en el Índice Estandarizado de Contaminante de E.U.A.¹⁴. La calidad del aire se considera como “satisfactoria” entre 0 y 100 puntos y no se asocian molestias, entre 101 y 200 se asocian molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles y se considera como “no satisfactoria”, es “mala” entre 201 y 300, y “muy mala” por arriba de los 300 puntos. A cada uno de estos intervalos se asocian diferentes efectos en la salud que se describen en el cuadro 1.10. De acuerdo a la información del cuadro 1.11 y las medidas preventivas del cuadro 1.10, no deberíamos caminar por tiempos prolongados ni hacer ejercicio al aire libre la mayor parte de los días.

¹⁴ Pollutant Standard Index

Cuadro 1.10
Efectos sobre la salud y medidas preventivas ante distintos niveles del índice IMECA

| IMECA | Efectos sobre la salud | Medidas preventivas |
|--------------|---|--|
| 0 a 100 | <ul style="list-style-type: none"> · No se presentan efectos negativos en la salud. | <ul style="list-style-type: none"> · No es necesaria ninguna medida preventiva. |
| 101 a 250 | <ul style="list-style-type: none"> · Irritación de la conjuntiva o dolor de cabeza. · Se reactivan los síntomas de los enfermos del corazón o de los pulmones. · Niños, ancianos y fumadores presentan trastornos del aparato respiratorio y cardiovascular. | <ul style="list-style-type: none"> · Se debe evitar caminar en la calle por tiempos largos. · No es recomendable realizar ejercicio físico al aire libre. |
| 251 a 350 | <ul style="list-style-type: none"> · Lactantes, ancianos y fumadores pueden presentar, además de las molestias anteriores, alteraciones inflamatorias en el sistema respiratorio. · El resto de la población puede presentar trastornos funcionales en el aparato respiratorio y cardiovascular. Se debe evitar caminar en la calle por tiempos largos. | <ul style="list-style-type: none"> · No realizar ejercicio al aire libre. · No fumar. · Evitar cambios bruscos de temperatura. · Disminuir el contacto con enfermos de las vías respiratorias. |
| Más de 350 | <ul style="list-style-type: none"> · Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón reactivan sus padecimientos de base. · La población en general pueden presentar alteraciones inflamatorias en su aparato respiratorio. | <ul style="list-style-type: none"> · Ingestión de jugos de frutas. · Atención médica oportuna si se detecta alguna alteración. · Mantenerse atento a las recomendaciones que emita el Sistema de Salud. |

Fuente: SEMARNAT, 2003

El análisis de los datos sobre puntos IMECA para la evaluación de los niveles de contaminación del aire en la ZMCM se puede realizar desde distintos ángulos. Veremos primero el número de días en que se ha ubicado el IMECA en los distintos rangos entre

1988 y 2001. Recordemos que estos niveles no solo tienen que ver con variables demográficas y económicas sino con variaciones meteorológicas que pueda sufrir la región.

Cuadro 1.11
IMECA en la ZMCM entre 1988-2001

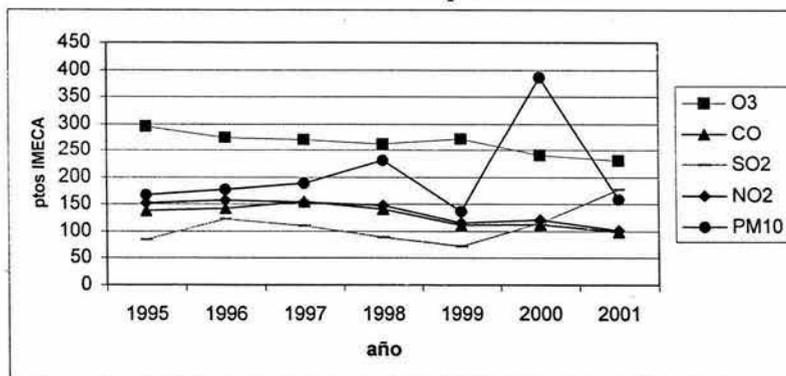
| Nivel de Contaminación IMECA | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| >= 100 puntos | 330 | 332 | 341 | 351 | 335 | 324 | 346 | 325 | 333 | 337 | 337 | 304 | 332 | 305 |
| >= 150 puntos | 232 | 136 | 235 | 284 | 264 | 240 | 263 | 263 | 238 | 225 | 219 | 194 | 194 | 146 |
| >= 200 puntos | 69 | 15 | 94 | 162 | 125 | 85 | 101 | 94 | 71 | 55 | 61 | 33 | 24 | 15 |
| >= 250 puntos | 11 | 3 | 28 | 56 | 39 | 14 | 4 | 7 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| >= 300 puntos | 1 | 0 | 4 | 7 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Se considera los siguientes contaminantes: hasta 1994 O₃, CO, NO₂ y SO₂; de 1995 a la fecha se considera O₃, CO, NO₂, SO₂ y PM10.

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2003

Aunque ha habido algunos avances en la mejora de la calidad del aire en la ZMCM y como consecuencia de ellos un ligero abatimiento de sus efectos adversos sobre la salud, para el año 2001 todavía el 83% de los días respiramos aire de calidad no satisfactoria. A pesar de esto, también debemos decir que los días con calidad de aire “mala” y “muy mala” son mucho menores a los de 1992 o 1991.

Gráfica 1.8
Niveles máximos IMECA por contaminante



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2003

Los niveles generales del IMECA están basados en el comportamiento de los distintos contaminantes que lo componen; en la gráfica 1.8 revisamos la dinámica de sus niveles

máximos de 1995 a 2001. Los mejores resultados se han observado en la disminución de máximos de CO y NO₂ mientras los demás contaminantes siguen registrando máximos por arriba de la norma.

En cuanto al promedio anual de concentraciones horarias, los niveles contaminantes han disminuido de manera muy importante de 1989 a 2001, sin embargo aún no se encuentran en niveles aceptables para la salud y hay contaminantes que han mantenido altos sus máximos anuales de puntos IMECA lo que no ha permitido disminuir más los días de mala calidad del aire en el año. Los contaminantes que se encuentran fuera de su norma la mayor parte de los días son el O₃, y las PM₁₀, mientras los niveles de CO y NO₂ han mantenido una tendencia a la baja que redundó en máximos de 98 y 101 puntos IMECA respectivamente para 2001. Aún cuando los máximos anuales del SO₂ pudieran indicar logros menores en el abatimiento de sus emisiones, en realidad las concentraciones de este contaminante han disminuido considerablemente.

1.5.4 Emisiones de GEI en México y la ZMCM

México se encuentra entre los 15 principales contribuidores en el calentamiento global de la Tierra. Específicamente en el lugar 14 aportando el 1.6% de las emisiones globales de CO₂ en 1999.

Los llamados gases de efecto invernadero (GEI) dejan pasar la radiación solar hacia la Tierra, sin embargo la radiación infrarroja que la Tierra emite es capturada por estos compuestos que redirigen alguna parte de esta radiación hacia la superficie del planeta. De no existir estos gases en nuestra atmósfera, la temperatura del planeta sería mucho más baja

y no habría posibilidad de vida. El problema con los GEI es que los incrementos que se han experimentado desde hace tres siglos debido a la industrialización y a su aparejada utilización intensiva de combustibles fósiles han provocado una elevación global de las temperaturas.

Las emisiones de CO₂ de la ZMCM representaron el 13% de las emisiones totales de CO₂ en el país para 1996, año en que se realizó el inventario de GEI para la Zona Metropolitana. De estas emisiones, el 55% fueron originadas por el uso del transporte dentro del cual los autos particulares sumaron 38% del total de este sector. La industria aportó el 20%, los hogares el 16%, la generación de energía eléctrica el 8% y el sector comercial y agrícola el 1%. A nivel nacional la contribución del transporte es del 30%, industria 32%, electricidad 26%, hogares 9% y sector agrícola y comercial 1.7%. Estas cifras son similares a las de muchos países desarrollados. La capacidad económica del país y su nivel de desarrollo serán un obstáculo para recortar las emisiones de GEI que se pronostica serán duplicadas para el año 2001.

1.5.5 Efectos de niveles de contaminación sobre la salud

En 1999 el World Resources Institute basado en datos de 1995 designó a la ciudad de México como la menos saludable en el mundo para la niñez, además aproximadamente el 2% de las muertes anuales se atribuyen a la contaminación del aire tanto en México, como en Estados Unidos, Canadá, países europeos y asiáticos (Christopherson, 2003).

Los contaminantes que atentan en mayor grado contra la salud en la ZMCM son las PM_{10} y el O_3 para los que algunos estudios han encontrado relaciones estadísticas muy estrechas de las concentraciones de estos compuestos con las tasas de mortalidad y morbilidad. En el caso de las PM_{10} se encontró que incrementos de $10\mu g/m^3$ en los niveles diarios conducen a incrementos en la mortalidad diaria del 1%. Por otro lado, aunque los niveles de concentraciones de O_3 no se relacionan directamente a incrementos en la mortalidad diaria, están muy ligados a efectos negativos sobre el sistema respiratorio, tos, irritación de ojos y hospitalizaciones por asma (Evans, *et al.*, 2002). En los estudios estadísticos realizados en la ZMCM las concentraciones de los demás compuestos contaminantes parecen tener efectos menores comparados a los de las PM_{10} y el O_3 aunque su daño sobre la salud persiste. Finalmente, debemos tomar en cuenta que las concentraciones reportadas por las estaciones tienden a subestimar las concentraciones a las que están expuestos los pasajeros de los distintos modos que reciben las emisiones de manera más directa (Fernández, A. y Spengler, D., 1994).

1.5.6 Algunas Comparaciones Internacionales

Las contribuciones del transporte son de entre el 50% y el 60% de las emisiones contaminantes en la mayoría de los países. En algunos de ellos los problemas locales no son tan graves como en otros, sin embargo su papel en problemas regionales y globales está directamente ligado a su consumo energético. En el siguiente cuadro tenemos una relación de algunas grandes ciudades del mundo donde se incluye la población y sus respectivos niveles de contaminación.

Cuadro 1.12
Grandes Ciudades y Niveles de Contaminación

| Ciudad | Población (miles) | PM ₁₀ (µg/m ³) | SO ₂ (µg/m ³) | NO ₂ (µg/m ³) |
|----------------------------|----------------------|--|---|---|
| Sydney, Australia | 3,855 | 22 | 28 | 81 |
| Viena, Austria | 1,904 | 39 | 14 | 42 |
| Sao Paulo, Brasil | 9,984 | 46 | 43 | 83 |
| Toronto, Canadá | 4,535 | 26 | 17 | 43 |
| Santiago, Chile | 4,522 | 73 | 29 | 81 |
| Pekín, China | 9,302 | 106 | 90 | 122 |
| Shangai, China | 10,367 | 87 | 53 | 73 |
| La Habana, Cuba | 2,270 | 28 | 1 | 5 |
| Praga, República Checa | 1,211 | 27 | 14 | 33 |
| Copenhague, Dinamarca | 1,371 | 24 | 7 | 54 |
| El Cairo, Egipto | 7,941 | 178 | 69 | - |
| París, Francia | 9,851 | 15 | 14 | 57 |
| Berlín, Alemania | 3,555 | 25 | 18 | 26 |
| Atenas, Grecia | 3,229 | 50 | 34 | 64 |
| Calcuta, India | 13,822 | 153 | 49 | 34 |
| Delhi, India | 10,558 | 187 | 24 | 41 |
| Bombay, India | 15,797 | 79 | 33 | 39 |
| Yakarta, Indonesia | 10,845 | 103 | - | - |
| Milán, Italia | 1,381 | 36 | 31 | 248 |
| Tokio, Japón | 12,483 | 43 | 18 | 68 |
| Seúl, Corea del Sur | 11,548 | 45 | 44 | 60 |
| Ciudad de México, México | 18,017 | 69 | 74 | 130 |
| Ámsterdam, Holanda | 1,131 | 37 | 10 | 58 |
| Manila, Filipinas | 10,432 | 60 | 33 | - |
| Lisboa, Portugal | 3,118 | 30 | 8 | 52 |
| Moscú, Rusia | 8,811 | 27 | 109 | - |
| Singapur, Singapur | 3,163 | 41 | 20 | 30 |
| Ciudad del Cabo, Sudáfrica | 2,942 | 15 | 21 | 72 |
| Madrid, España | 3,068 | 37 | 24 | 66 |
| Bangkok, Tailandia | 7,296 | 82 | 11 | 23 |
| Londres, Inglaterra | 7,812 | 23 | 25 | 77 |
| Chicago, EUA | 9,024 | 27 | 14 | 57 |
| Los Angeles, EUA | 16,195 | 38 | 9 | 74 |
| Nueva York, EUA | 20,951 | 23 | 26 | 79 |
| Caracas, Venezuela | 3,488 | 18 | 33 | 57 |

Fuente: World Bank (2003)

Medias anuales de concentración de contaminantes.

En el cuadro 1.12 se incluyen solamente las concentraciones de tres contaminantes debido a que son los que se miden en la mayoría de las ciudades seleccionadas. En negritas tenemos

las concentraciones que exceden los niveles debajo de los cuales la salud no es afectada. Estos estándares son de $40(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para NO_2 y de $50(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para SO_2 y PM_{10} ¹⁵.

Vemos, por ejemplo como ciudades norteamericanas (Chicago, Los Angeles y Nueva York) han logrado abatir los niveles de concentraciones de las PM_{10} y SO_2 , sin obtener grandes logros en cuanto a disminuciones de NO_2 un precursor de ozono y lluvia ácida cuyos efectos son globales. Además de ello el consumo energético de estas aglomeraciones urbanas de 9, 16 y 21 millones respectivamente es parte de las razones por las cuales Estados Unidos (EUA) ocupa el primer lugar en emisiones de CO_2 , principal GEI, aportando el 25% de estas a nivel mundial. En el caso de EUA, el transporte genera el 30% de los GEI. En el mundo, el promedio de las emisiones GEI derivadas del transporte son del 21%, otro 44% proviene de la transformación de energía, la industria aporta el 19% y el resto otras actividades.

Regresando al cuadro anterior, notamos que son ciudades de países menos desarrollados las que presentan más problemas, excediendo en muchos casos los niveles de los tres contaminantes criterio que se consideran. Es el caso de la Ciudad de México, El Cairo, Pekín y Shanghai. En lo que se refiere al SO_2 , pocas son las ciudades que sobrepasan los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), mientras los niveles promedio de concentración anual de NO_2 parece ser un problema que pocas ciudades han podido atacar eficientemente. El nivel más alto de este contaminante lo tiene

¹⁵ Para NO_2 y SO_2 los estándares son tomados de la OMS mientras en el caso de las PM_{10} se utiliza el estándar de la Agencia Federal de Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), ya que la OMS aún no determina un nivel de concentración debajo del cual no haya repercusiones negativas sobre la salud.

la ciudad de Milán, el principal centro industrial italiano, seguido por Pekín, la capital china.

Las concentraciones de PM_{10} se han convertido en últimos años en un indicador muy estudiado por sus múltiples efectos negativos sobre la salud. Los niveles más altos se reportan en ciudades asiáticas y africanas seguidas por dos ciudades latinoamericanas: Santiago y la Ciudad de México. Sin embargo, cabe mencionar que una de las ciudades de menores niveles de concentración de contaminantes en el aire es Singapur que junto al igual que Berlín goza de un alto ingreso per cápita y bajos niveles de contaminación.

Finalmente, comparando la contribución del transporte en las emisiones de CO, HC, NO_x y PM_{10} de los otros dos países miembros del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) tenemos que en EUA los porcentajes del total de las emisiones atribuibles al sector transporte son de 77%, 47%, 56% y 25% respectivamente, mientras en Canadá son de 40% para CO, 21% de HC y 60% de los NO_x (Christopherson, 2003).

2. Tráfico Inducido: Teoría y Evidencia Empírica

2.1 ¿Qué es el Tráfico Inducido?

El concepto de tráfico inducido ha sido interpretado de muchas maneras similares pero no idénticas por los distintos analistas del tema. En este trabajo se utilizará la más aceptada de las definiciones de este término. En el contexto de un análisis general de las políticas de transporte llevado a cabo en Inglaterra por el Comité de Asesores en la Evaluación de Caminos Troncales (SACTRA por sus siglas en inglés) en 1992 a iniciativa del Departamento de Transporte (DoT) de ese país, surgió la necesidad de definir con precisión lo que era la generación de tráfico debido a un incremento de las vialidades. De esta manera se resolvió que el concepto de *tráfico inducido* reemplazaba al de *tráfico generado* anteriormente utilizado para definir aquel fenómeno ya que estrictamente hablando todo el tráfico es *generado* por miles de decisiones de viaje que la población toma. Por otra parte, en contraposición al *tráfico inducido*, se dio origen a otro concepto, el de *tráfico suprimido*.

Tráfico Inducido: Es aquel tráfico generado exclusivamente como consecuencia de la mejora o ampliación de la red vial de un área determinada. En otras palabras, es aquel tráfico que no hubiera existido de no haberse incrementado la capacidad vial.

Tráfico Suprimido: Se trata del fenómeno opuesto al anterior, es decir, la reducción en el tráfico producto de una disminución o empeoramiento de la capacidad vial. También se le conoce como *tráfico potencial*.

Además de las divergencias en cuanto a la manera como se ha definido tráfico inducido y tráfico generado, existe otra fuente de discrepancias en la utilización de estos conceptos. Esta se refiere al objeto de estudio del analista que para algunos puede tratarse del tráfico inducido o generado en una sola vialidad sin considerar lo que ocurre en el sistema vial completo. Las definiciones de SACTRA y de la Oficina de Investigación en Transporte de Estados Unidos (TRB por sus siglas en inglés) que son las más precisas y trabajadas consideran las variaciones en los niveles de tráfico derivados de los cambios en la infraestructura vial de toda un área y no solo de una vialidad específica.

Para conocer más detalladamente las repercusiones de la ampliación vial y denotar claramente lo que es *tráfico inducido*, se enumeran a continuación los efectos que sobre la movilidad genera el incremento en la infraestructura vial:

1. Cambios en la ruta utilizada para un viaje determinado
2. Cambios en la hora del día en que se realiza un viaje
3. Cambio de modo para un viaje determinado
4. Cambios en la ocupación promedio de los vehículos
5. Cambios en destinos
6. Nuevos viajes realizados

De los efectos mencionados anteriormente, los dos últimos corresponden al contexto de una matriz de viajes variable, donde se acepta que una nueva vialidad puede producir cambios en el uso de suelo de algunas zonas anteriormente lejanas o que se incremente la cantidad de viajes por persona.

El segundo efecto numerado es el que ocurre probablemente con mayor frecuencia a partir de la ampliación de la red vial, sin embargo este efecto no se consideraría como tráfico inducido. Lo único que ocurre es que los viajes requieren de menores tiempos de traslado y los conductores cambian sus horarios de partida¹⁶. Por su parte el primer efecto, cambios en la ruta, pueden representar o no tráfico inducido, esto depende de si las nuevas rutas para llegar a un mismo destino son más largas. Esto puede presentarse en el caso de un conductor que abandona su antigua ruta directa para utilizar una vía anular de acceso controlado que aunque rodea la ciudad y representa más kilómetros, le permite llegar en menos tiempo a su destino o por lo menos no le impide avanzar con fluidez. De cualquier forma, este efecto tampoco es considerado normalmente como parte del tráfico inducido (SACTRA, 1994 y TRB, 1995).

Los cambios en la ocupación promedio de los automóviles y los cambios de modo ocurren generalmente por el incremento del nivel de vida de la sociedad. Sin embargo estos cambios serían viajes potenciales de no existir incrementos en la capacidad vial¹⁷. Para el caso particular de la ZMCM, no podrían concebirse los actuales niveles de tráfico con la infraestructura vial de 1950. Es decir, en todo momento existe un tráfico potencial generado por factores demográficos y económicos que no se ha liberado debido a la falta de capacidad vial, es un tráfico suprimido que se emancipará y saldrá a invadir las calles cuando las condiciones que lo mantenían sujeto desaparezcan.

¹⁶ Los cambios en horarios de viaje también pudieran generar tráfico inducido indirectamente pues viajes suprimidos de horas no pico ahora podrían realizarse debido a la menor carga vehicular en estas horas.

¹⁷ La gente preferiría compartir auto o realizar los viajes por transporte público a pesar del incremento en su ingreso real.

La mayoría de los efectos son de corto plazo excepto parte de los cambios de modo y los cambios en destinos que se generan debido al desarrollo de nuevas zonas residenciales a las afueras de la ciudad que se vuelven atractivas al no estar tan lejos de la zona urbana en cuanto a tiempo de traslado. Esto ocurre a pesar de que por la mayor distancia el nuevo destino se encuentre al mismo o mayor tiempo de traslado que el anterior. Al respecto, se han hecho varios estudios que prueban la existencia de un presupuesto de tiempo de traslado constante¹⁸.

Los siguientes son algunos otros ejemplos de tráfico inducido mostrando entre paréntesis el tipo de efecto que representan:

- Debido a que el tiempo de traslado de casa al trabajo se redujo de 25 a 10 minutos, una persona que cuenta con 1 hora de comida en su trabajo decide ir a su casa a tomar sus alimentos ya que le resulta menos costoso y le representa más utilidad que comer fuera. Esto da como resultado que los kilómetros recorridos diarios de esta persona se dupliquen (efecto 6)
- Un padre que asiste ahora regularmente a recital o juego de fútbol de su hijo debido a que el recorrido disminuyó de una hora a 30 minutos (efecto 6)
- Para ir a la escuela un estudiante con automóvil prefería utilizar el sistema de transporte público ya que era más rápido comparado al uso del auto antes de la ampliación vial (efecto 3)

¹⁸ Dos de los estudios pioneros en este campo fueron los de Zahavi y Ryan (1980) y el de Zahavi y Talvitie (1980)

Un caso particular de disminución en viajes realizados que incrementa el número de kilómetros recorridos en vehículo (KRV) es el de una ampliación vial que deriva en menores tiempos de traslado a una bodega de autoservicio o un centro comercial de rebajas apartado de la ciudad. Los viajes serán probablemente menos frecuentes que a una tienda de autoservicio estándar o boutiques con precios regulares pero serían más largos y representarían al final de cuentas más kilómetros recorridos. Esto está muy ligado al desarrollo inmobiliario y comercial de zonas en la periferia de las ciudades que se genera a causa de una accesibilidad mejorada.

De acuerdo al reporte de SACTRA (1994) el tráfico inducido es mayor cuando:

1. La red está operando cercana a su máxima capacidad¹⁹
2. La elasticidad de la demanda de viajes en auto es alta (la teoría del tráfico inducido se revisará en el siguiente apartado)
3. La nueva vialidad reducirá considerablemente los costos de viaje (la reducción en el tiempo de traslado es sustancial respecto al tiempo original²⁰)

Los partidarios de incrementar la oferta vial previniendo posibles cuellos de botella de acuerdo a las estimaciones de demanda futura de viajes (*predict and provide* o *predecir y proveer*) no toman en cuenta la triple convergencia de Downs ni que esta manera de dar solución a los problemas de movilidad solo es parte de un círculo vicioso que genera y

¹⁹ Esta situación ya había sido estudiada con anterioridad por Williams (1992)

²⁰ Es importante recalcar que se trata de disminuciones relativas pues no es lo mismo reducir 10 minutos en un viaje de 1 hora que en uno de 20 minutos, en el primero la reducción es del 16.7% y en el segundo del 50%.

acumula costos monetarios, sociales y ambientales. Downs (1999) nos dice que a raíz de la apertura de una nueva vialidad, claramente se producen tres efectos inmediatos: 1) usuarios de otras rutas utilizan la nueva, 2) aquellos que viajaban a horas no-pico ahora lo hacen en horas pico, y 3) algunos usuarios del transporte público optan por manejar sus vehículos. La paradoja de Downs-Thomson expuesta por Mogridge (1987) va más allá argumentando que debido al último efecto los recursos captados por el transporte público disminuyen y empeoran la calidad de su servicio, lo cual finalmente redundará en que antiguos usuarios del transporte público opten por el privado. Esta paradoja implica, sin embargo, que una gran cantidad de pasajeros cambian de modo, un efecto que hasta el momento se considera menor en el corto plazo.

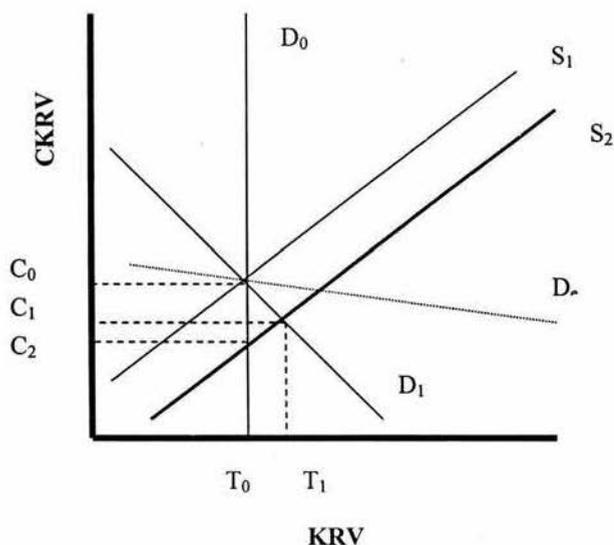
De cualquier forma, parece claro que políticas de transporte basadas en el crecimiento de la infraestructura vial no solucionan o evitan cuellos de botella, sino al contrario hasta pueden crearlos, pues mientras no todo el sistema vial es renovado o ampliado el tráfico se ha incrementado. Quizá en el corto plazo se alcancen velocidades más elevadas y sostenidas en las nuevas vialidades pero se cruzarán con otras que no han sido ampliadas y que tendrán un nivel de saturación mayor al que sufrían anteriormente.

2.2 Teoría del Tráfico Inducido

La teoría del tráfico inducido que se basa en el análisis clásico de la economía de la oferta y la demanda puede representarse por las tijeras marshallianas de la gráfica 2.1. La curva de oferta en este análisis es la curva de costo marginal por congestión, la pendiente positiva nos indica que los costos se incrementan al aumentar el tráfico. Por su parte, la curva de demanda de viajes D_0 es la que utilizarían los críticos del tráfico inducido, es una

curva de demanda inelástica que no responde a variaciones en el costo de los viajes, del cual el principal componente es el tiempo de traslado. Bajo esta suposición, al incrementarse la oferta vial, representada por un movimiento de la curva de oferta hacia abajo y la derecha (de S_0 a S_1), el único efecto es que se reduce el costo de viaje de C_0 a C_2 como consecuencia de las reducciones en el tiempo de traslado. Mientras tanto, el nivel de tráfico permanecería en T_0 .

Gráfica 2.1
Representación del Tráfico Inducido



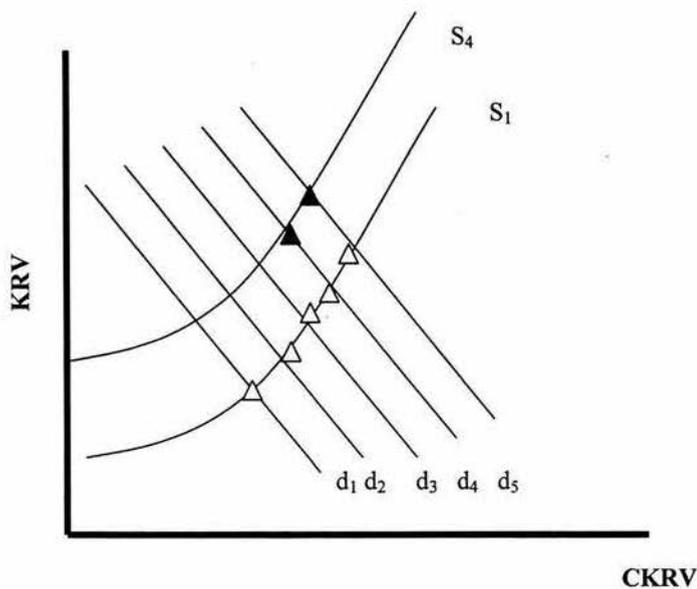
Si cambiamos de enfoque, a uno más realista donde la demanda de viajes esta vinculada no solo a factores exógenos como el crecimiento demográfico y económico sino por ejemplo a la oferta vial que se traduce en menores tiempos de recorrido, tendríamos una curva de demanda como la D_1 . Esta curva con pendiente negativa, refleja el hecho de que a menores costos de viaje más viajes se realizan. Partimos de nueva cuenta de un equilibrio en C_0 y T_0 ,

la nueva vialidad traslada la curva de oferta o de costos de S_0 a S_1 resultando en un nuevo equilibrio en C_1 y T_1 . Se observa que los niveles de tráfico alcanzados después del incremento en la infraestructura vial son mayores que al inicio y que los costos aunque son menores a C_0 , no son tan bajos como en el supuesto de una demanda de viajes inelástica. La diferencia entre T_1 y T_0 es el tráfico inducido.

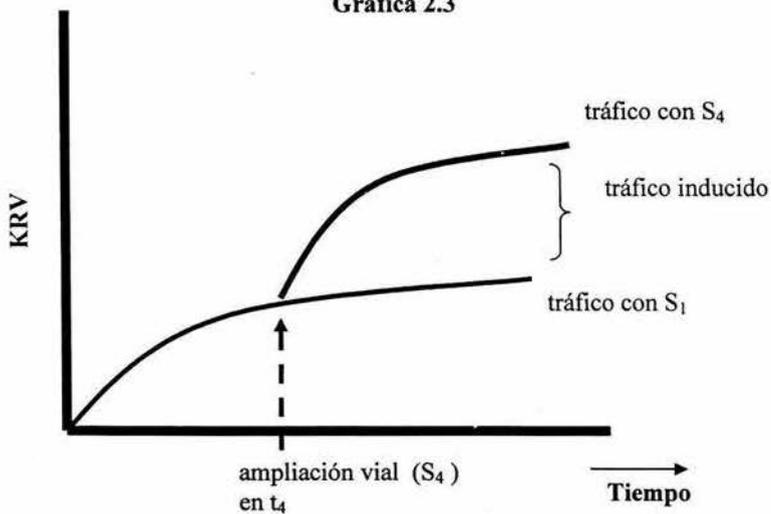
De acuerdo al reporte de SACTRA (1994) habíamos visto cuando podía resultar mayor el tráfico inducido. La primera de las causas era que la demanda de viajes fuera muy elástica, esta podría estar representada por D_e en la que se hace evidente como el tráfico inducido por la ampliación vial es mayor, ya que el nuevo equilibrio estaría por arriba de T_1 . El segundo factor relacionado a un tráfico inducido mayor es el de disminuciones muy considerables en los costos o tiempos de traslado. Esto se representaría con un desplazamiento mayor de la curva de costos hacia abajo y la derecha con efectos gráficos evidentes que no se incluyen con el fin de mantener claros los demás cambios. El tercero de los efectos no solamente está relacionado con la curva de demanda²¹ sino con la inclinación de la curva de costos. Una curva de costos plana nos indica que nos encontramos en la porción de la curva donde los incrementos en el tráfico no afectan de manera sustancial la fluidez, es decir no incrementan los costos. Existen muchos resultados posibles dependiendo de las pendientes de ambas curvas, sin embargo los comentarios hasta aquí expuestos dan luz suficiente sobre lo que significa el tráfico inducido en el marco del análisis económico convencional.

²¹ Una curva de demanda perfectamente elástica revelaría que hay una enorme cantidad de tráfico potencial o suprimido por los congestionamientos pero que está esperando incrementos en la capacidad vial para realizarse.

Gráfica 2.2



Gráfica 2.3



Gráfica 2.2 elaboración propia y Gráfica 2.3 basada en Litman (2003)

Las gráficas 2.2 y 2.3 permiten visualizar de otra manera el tráfico inducido, analizando el comportamiento de los niveles de tráfico en el tiempo. Se debe tener cuidado al leer estas gráficas pues el orden de los ejes no es el mismo que se utilizó anteriormente, en este caso para ambas gráficas (2.2 y 2.3) tenemos al tráfico en el eje de coordenadas Y. En 2.2 tenemos el costo de viaje en X y en 2.3 el tiempo. La primera de estas gráficas da origen a la segunda. Los subíndices se refieren al periodo, podrían ser años, lustros, décadas, lo cual hasta el momento es irrelevante pues se trata solo de una ilustración. Así, vemos en nuestro caso hipotético que la oferta se mantiene igual hasta t_4 mientras la demanda se incrementa continuamente por cuestiones demográficas y económicas principalmente. Los puntos de equilibrio en los diferentes momentos contando con la misma oferta S_1 se representan con los triángulos vacíos. Cuando en t_4 se incrementa la oferta vial, vemos como hay nuevos puntos de equilibrio en niveles de tráfico más elevados representados por los triángulos llenos. Es importante notar que por el cambio de orden de los ejes un incremento en la capacidad vial ahora se representa como un desplazamiento de la curva de costos hacia arriba y a la izquierda. En la gráfica 2.3 se observa la dinámica del tráfico en el tiempo en este caso hipotético. Con la oferta vial sin incrementos (S_1) el tráfico llegaría a un punto en que se estabiliza y deja de crecer, pero la ampliación vial (S_4) permite que se sigan sumando más kilómetros recorridos durante un tiempo más aunque finalmente se vuelve a llegar a un punto de saturación. Los incrementos indefinidos en la capacidad vial seguirían produciendo estos efectos aunque cada vez con menos impacto.

Las implicaciones en el análisis de bienestar y de costo-beneficio serán revisados en el capítulo 4, sin embargo, hasta el momento es evidente que no resultarán los mismos beneficios considerando una demanda perfectamente inelástica que una elástica, en esta

última los beneficios de una oferta vial incrementada son menores que en la primera como se puede desprender de la gráfica 2.1.

Por último, es importante señalar que las curvas de costos hasta aquí presentadas no incluyen más que los costos derivados del tiempo de traslado, sin embargo, habría que incluir los costos ambientales que se generan al incrementar el uso del automóvil. Esta situación estaría representada por una curva de costos más hacia la izquierda en la gráfica 2.1 y más hacia la derecha en la 2.2. Cabe hacer notar que aún con una oferta totalmente elástica, es decir, una horizontal en la que no existieran costos por congestión de la red vial, la curva de costos verdadera, en la que se incluyen los ambientales, tendría una pendiente positiva ya que más tráfico son más KRV y estos finalmente se traducen en emisiones contaminantes acumulativas.

2.3 Evidencia Empírica del Tráfico Inducido

Son dos los casos más comentados recientemente de obras viales que no resuelven el problema del tráfico y que al contrario lo empeoran como la I-270 en el condado de Montgomery, Maryland y la M25 en la ciudad de Londres, Inglaterra. Los habitantes de estas como otras ciudades han percibido que las nuevas vialidades provocaron incrementos en el tráfico y han respondido logrando ejercer presión para poner en entredicho las políticas de *predecir y proveer*.

Aunque ha sido en los últimos años cuando al fin se ha generalizado la preocupación por los niveles de tráfico y sus causas, las observaciones sobre este fenómeno se remontan por lo menos a 1938 con un trabajo de Bresssey y Lutyens citado por Goodwin (1996) en el que

se afirma que una nueva vialidad (la Great West Road) llevaba 4.5 veces más vehículos que la antigua sin haber indicios de que hubiera disminuido el tráfico en la antigua ruta. Concluyen que “estos datos sirven para ejemplificar la manera en que las nuevas vialidades crean nuevo tráfico” (Goodwin, 1996, p. 36). En este mismo trabajo de Goodwin se reporta que de una muestra de 151 casos de pronósticos de tráfico realizados por el DoT a partir de obras viales, los verdaderos flujos en tales nuevas vialidades fueron 10.4% mayores en promedio al estimado un año después de la apertura de la vialidad. El promedio de la diferencia entre tráfico observado y el pronosticado en 85 rutas alternativas también presentó errores ya que el tráfico observado fue en promedio 16.4% mayor al estimado. En 7 estudios para los que no se contó con mucho tiempo de observación se calculó una media de 20% más tráfico del esperado, mientras en otros 6 estudios con más periodos con datos de tráfico el promedio fue de 77% más tráfico del que se pronosticó.

Por otro lado, Goodwin calcula una elasticidad de demanda de viajes con respecto al tiempo de -0.5 para el corto plazo y de -1.0 para el largo plazo. Estas elasticidades están basadas en un promedio de elasticidades de demanda de viajes con respecto al precio de la gasolina. Contando con ese dato, con el valor del tiempo, el promedio de tiempo empleado en viajes y los gastos en gasolina diarios se puede obtener la elasticidad de la demanda de viajes con respecto al tiempo por la siguiente relación:

$$E_t = E_g \cdot Vt/G$$

donde E_t es la elasticidad de la demanda con respecto a (c.r.a.) tiempo, E_g es la elasticidad de la demanda c.r.a. precio de la gasolina, V es el valor del tiempo por minuto, t es el tiempo empleado en traslados y G es el gasto en gasolina diario.

Para el caso de la ZMCM podríamos considerar los siguientes valores para obtener las elasticidades c.r.a. tiempo:

$E_g = -0.6$, $V = \$0.48$ pesos por minuto, $t = 75$ minutos en traslados, $G = \$30.50$ pesos gastados en gasolina diariamente²².

$$E_t = (-0.6) \cdot (0.48) \cdot (75) / 30.5$$

$$E_t = -0.708$$

Para el largo plazo utilizaríamos una elasticidad E_g de -1.15 dando como resultado una elasticidad de la demanda c.r.a. tiempo de traslado de -1.35 en el largo plazo. Las elasticidades obtenidas son mayores a las que Goodwin obtiene para Inglaterra debido a las mayores elasticidades c.r.a. precio de gasolina obtenidas para México y en mayor medida a que los tiempos empleados para traslados son 3 veces mayores en México que en Inglaterra (75 y 25 minutos respectivamente)

²² La elasticidad se obtiene de Eskeland y Feyzioglu (1997), el valor del tiempo por minuto de datos en www.inegi.gob.mx donde el promedio de las cotizaciones diarias en el IMSS es de \$234 pesos, el tiempo en traslados de WorldBank (2003) y el gasto en gasolinas se obtiene del precio de la gasolina de \$6.00 pesos y de los datos de GDF (2002) donde el rendimiento promedio es de 6.5 km por litro y el promedio de recorrido por auto de 33 km diarios.

En un análisis en contrasentido al del tráfico inducido, Cairns , *et. al.* (1998) estudian varios casos para probar la existencia del tráfico suprimido. En ese documento se presenta evidencia de cómo las reducciones en la capacidad vial disminuyen los niveles de tráfico. El estudio se amplía en (Cairns, *et. al.*, 2001) y las cifras finales indican que en el estudio de 70 casos donde se toma en cuenta el tráfico de la vialidad suprimida y el de rutas alternas, las variaciones fueron de entre -146% y +25%, con una media de -21.9% y una mediana de -11%. Esta última cifra es la que consideran relevante los autores debido a la alta variabilidad de los datos. El valor de -11% nos diría que una reducción en la capacidad vial no conducirá a cuellos de botella en la movilidad sino que disminuirá el tráfico de la zona. Habría cambios de modo, supresión de algunos viajes y reubicación de actividades cuyo resultado final es que los viajes de menor valor en auto desaparecen.

El auge que ha tenido el estudio del tráfico inducido en los últimos años fue iniciado por el reporte de SACTRA²³ en 1994 seguido por el trabajo realizado por el TRB (1995). Ambos reportes presentan teoría y evidencia empírica de este fenómeno. Se menciona entre las conclusiones de SACTRA en 1994 que “el tráfico inducido puede y de hecho ocurre probablemente de manera significativa, a pesar de que el tamaño y significancia varían enormemente bajo distintas circunstancias” (Noland, 2000). En 1994 basado en el reporte de SACTRA, el Gobierno Británico declaró que “es muy probable que haya una parte significativa de los proyectos en los que existe una posibilidad real de tráfico extra” (Goodwin, 1996).

²³ SACTRA (1994), *Trunk Roads and the generation of traffic*, Department of Transport, London

Por su parte el reporte del TRB concluye también que los efectos del tráfico inducido no han sido incluidos en los pronósticos regulares del Departamento de Transporte de EUA, que el uso de la infraestructura vial puede incrementarse como consecuencia de su ampliación y que es muy probable que ocurra una urbanización de zonas anteriormente alejadas de la ciudad. Las siguientes son algunas de las conclusiones más relevantes del reporte del TRB (1995, pp. 210-224):

1. Aumentos en la capacidad vial que reducen los tiempos de viaje inducirán un incremento en el uso de la vialidad.
2. El mayor efecto de la ampliación de la infraestructura vial es la redistribución de tráfico de otras rutas y de otros horarios. También se presentaran algunos cambios en destinos y modos. Por su parte, incrementos en el número de automóviles y nuevos viajes serán poco relevantes en el corto plazo y aumentarán con el tiempo.
3. La demanda de viajes de carga no se incrementará sustancialmente con las ampliaciones viales.
4. El tamaño del impacto sobre el tráfico de una nueva vialidad dependerá de la cantidad de ahorros en tiempo en relación al costo total del viaje.
5. Los actuales modelos no reflejan adecuadamente los efectos de las reducciones en los tiempos de traslado. En especial del incremento en los automóviles registrados, número de viajes y hora del día de los viajes.
6. Los incrementos en la capacidad vial impulsan la descentralización de las ciudades, expandiendo la mancha urbana.
7. Los modelos de impacto de nuevas vialidades tampoco capturan de manera precisa los efectos sobre el desarrollo urbano de zonas periféricas.

En el documento del TRB se presenta además un resumen de los estudios realizados sobre tráfico inducido y sus distintas metodologías. Esto ha sido revisado y ampliado por Cervero (2001) quien también ha realizado análisis empíricos sobre el tema.

Las variables de oferta o explicativas comúnmente utilizadas para análisis empíricos son la longitud en vialidades mientras las de demanda o dependientes son los kilómetros recorridos. Una mejor variable de oferta es el tiempo de viaje que finalmente es lo que trata de reflejar la longitud en vialidades. De menor a mayor, en orden de rigurosidad, los tipos de estudios más trabajados para probar la existencia del tráfico inducido son: 1) sobre proyectos específicos, 2) sobre un área metropolitana, y 3) sobre los que se toma como variable independiente o explicativa los ahorros en tiempos de traslado.

2.3.1 Estudios sobre proyectos específicos

En este tipo de estudios se capturan los niveles de tráfico antes y después de que se mejore o construya una vialidad. De los primeros estudios en EUA que datan de las décadas de los 50 y 60 (ver cuadro 2.1) es casi imposible determinar que parte del tráfico incrementado en la vialidad corresponde al tráfico inducido y cual a redistribución de rutas y horarios. En estudios más recientes se ha intentado cubrir esa deficiencia contando también el tráfico de vialidades relacionadas. Mientras más vialidades paralelas o relacionadas se consideren los resultados serán más confiables sin embargo los costos asociados a dichos estudios son muy altos. Otro problema de este tipo de estudios es la dificultad para capturar los efectos de largo plazo de las nuevas vialidades. Para lograrlo, se deben hacer cuentas del tráfico durante varios años, sin embargo reconocer el incremento en el tráfico debido a la nueva vialidad y el ocasionado por otros factores se complicaría.

Las tres metodologías más utilizadas para los estudios sobre proyectos específicos son:

- 1) Comparaciones de crecimiento (CC): aquí se liga el crecimiento del tráfico a alguna variable y se pronostican los niveles de tráfico sin la nueva vialidad y se comparan con los niveles de tráfico observados
- 2) Comparaciones con rutas controladas (CR): Las rutas controladas son vialidades similares a la nueva o mejorada pero que no ha sufrido cambios. Se comparan los niveles de tráfico y la diferencia se considera tráfico inducido. Esta técnica ha sido muy criticada por el hecho de que es muy difícil escoger corredores idénticos.
- 3) Modelos de Regresión (MR): Pocos estudios de vialidades específicas han utilizado la técnica del modelo de regresión múltiple, de ellos el más interesante es el de Hansen *et. al.* (1993).

Los trabajos de Hansen *et al.* (1993) y de Goodwin (1996) son los más rigurosos dentro de este enfoque de proyectos específicos. El primero de ellos es el único que hace uso de elasticidades para mostrar los efectos de la ampliación de la capacidad vial. Esta manera de presentar resultados es más adecuada ya que toma en cuenta los incrementos relativos en el tráfico provocados por un incremento relativo en las vialidades. Por su parte, el trabajo de Goodwin nos provee de una gran cantidad de evidencia empírica bajo distintas metodologías. Los últimos dos estudios que se incluyen en el cuadro 2.1 son un intento por demostrar que la técnica CR cuenta con muchas deficiencias y no puede probar en todos los casos la existencia del tráfico inducido. Finalmente, de estos estudios podríamos calcular un promedio de 10.6% de tráfico inducido para el CP, 25% para el MP y del 47% para el LP.

Cuadro 2.1
Resumen Metodológico y de Elasticidades para Estudios en Proyectos Específicos

| Autor (año) | Lugar | Método | Variable De oferta | % del crecimiento asociado al tráfico inducido | | |
|---|------------|--------|-----------------------|---|------|----------------|
| | | | | CP | MP | LP |
| Jorgensen(1947) | NY | CC | NV | 25-30 | - | |
| Lynch (1955) | Maine | CC | NV | - | - | 30 |
| Mortimer (1955) | Chicago | CC | NV | - | 3-33 | - |
| Frye (1964) | Chicago | CR | NV | - | - | 11 |
| Frye (1964) | Chicago | CR | NV | - | - | 7 |
| Holder, Stover (1972) | Texas | CC | NV | 0-21 | - | - |
| Pells (1989) | Londres | CR | Amp | - | - | 27 |
| Pells (1989) | Londres | CR | Amp | - | 25 | 56 |
| Pells (1989) | Londres | CR | Mejora | - | - | 80 |
| Pells (1989) | Londres | CR | NV | - | 77 | - |
| Pells (1989) | Londres | CR | NV | - | - | 89 |
| Hansen et.al. (1993) | California | CC/MR | Amp | 0.2-0.3 | - | 0.3-0.6 |
| Goodwin (1996) | Inglaterra | CC | NV | 10-16 | - | |
| Goodwin (1996) | Inglaterra | CR/AD | NV | 20 | - | 77 |
| Kroes et. al. (1996) | Ámsterdam | CR | NV | - | 4.5 | - |
| Luk, Chung (1997) | Melbourne | CR | NV | 0 | - | - |
| Mokhtarian,et.al (2000) | California | CR | Amp | 0 | 0 | - |
| AD= Estudio de tráfico antes y después de la obra | | | | MP=Mediano Plazo | | |
| NV= Nueva Vialidad | | | | LP=Largo Plazo | | |
| CP= Corto Plazo | | | | amp=ampliación | | |
| Elasticidades en negritas | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia con datos de TRB (1995), Goodwin (1996) y Cervero (2001)

2.3.2 Estudios de área

Este tipo de estudios tienen la ventaja de capturar la mayor parte de los efectos que una nueva vialidad tiene sobre el tráfico. Los cambios ocurridos en horario y ruta son descontados ya que se toma en cuenta el tráfico total de un área metropolitana, la única parte que pudiera escapar y que suele ser insignificante es el tráfico que salga del área de estudio. La principal crítica a este tipo de estudios es que no se puede determinar la causalidad en las variables, es decir, no es posible probar con suficiencia si las vialidades generan tráfico o si este motiva el crecimiento de las vialidades. La segunda crítica

importante es que las variaciones de un año a otro en las vialidades de un área determinada no son sustanciales y se dificulta separar los efectos que tienen las vialidades de otros efectos de corto plazo. Estos modelos también carecen de un análisis desagregado de los efectos de una ampliación vial pues solo nos dan la explicación de cómo se forma el tráfico total. En el cuadro 2.2 tenemos un resumen de elasticidades obtenidas mediante este enfoque.

Cuadro 2.2

Resumen Metodológico y de Elasticidades para Estudios de Área

| Autor (año) | Lugar | Método | Var. de Oferta | Elasticidades | |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------|
| | | | | Corto Plazo | Largo Plazo |
| Kassoff, Gendell (1972) | Áreas Urbanas de EU | AG | IC | 0.58 | - |
| Koppelman(1972) | 20 cds de EU | MCO | LM | 0.13 | - |
| Ruiter et al. (1979) | Corredores de Cal. | MS | NV | - | 0.38 |
| Ruiter et al. (1979) | Corredores de Cal. | MS | Amp | - | 0 |
| Payne-Maxie et al. (1980) | 54 a. metrop de EU | MCO | LM | 0.22 | - |
| Hansen et al. (1993) | 30 condados de Cal. | MCO, RD, EF | LM | 0.46-0.50 | - |
| Hansen et al. (1993) | Áreas metrop. de Cal | MCO, RD, EF | LM | 0.54-0.61 | - |
| Hansen.Huang (1997) | 32 condados de Cal. | AR, RD, EF | LM | 0.30 | 0.68 |
| Hansen,Huang (1997) | Áreas metrop. de Cal | AR, RD, EF | LM | 0.50 | 0.94 |
| Noland, Cowart (2000) | 70 a. metrop de EU | VI, RD, EF | LMpc | 0.66 | 0.81-1.00 |
| Fulton et al. (2000) | 220 condados de EU | VI, RD, EF | LM | 0.13-0.43 | 0.47-0.89 |
| Strathman et al. (2000) | 48 áreas urbanas EU | VI | LMpc | 0.29 | - |
| Noland (2001) | Estados de EUA | ES,RD, 2E | LM | 0.30-0.60 | 0.70-0.10 |
| Cervero, y Hansen (2000) | 34 condados de Cal. | 2E, RD, EF | LM | 0.56 | 0.78-0.84 |
| Rodier et al. (2001) | Corredores de Cal. | MS | NV | - | 0.6-1.0 |
| AG=Análisis Gráfico | | EF=Efectos Fijos | | IC=Índice de Capacidad | |
| MCO=Mínimos Cuadrados Ordinarios | | AR=Autoregresivo | | LM=Millas de Vialidades | |
| MS=Modelo de Simulación | | VI=Variables Instrumentales | | ES= Ecuaciones Simultáneas | |
| RD=Rezagos Distribuidos | | 2E=MCO en dos etapas | | pc=per cápita | |

Fuente: Cervero (2001) y Noland(2001)

Los estudios donde han participado Hansen por un lado y Noland por otro son los que abarcan la mayor parte de los trabajos realizados a partir de los 90. Desde los resultados de las regresiones obtenidas en los estudios seminales de Hansen *et al.* (1993), los posteriores de Hansen y Huang (1997), Cervero y Hansen (2000) y en los que participa Noland

(Noland y Cowart 2000; Fulton *et al*, 2000; Noland 2001) se podría decir que la elasticidad de corto plazo es de 0.48 mientras en el largo plazo es de 0.80. Todos estos estudios incorporan otras variables explicativas como población, ingreso per cápita, y precios de gasolina. Las elasticidades de estas variables son en promedio de 0.65, 0.40, y -0.15. De estos resultados se concluye que el impulso más fuerte para el incremento de los KRV en ciudades de países desarrollados es la ampliación de la capacidad vial, seguida del crecimiento demográfico, el aumento de los niveles de ingreso y finalmente con un efecto menor el precio de la gasolina.

En el más reciente trabajo de Hansen (Cervero y Hansen, 2000) se corre también una regresión donde se invierten las variables, es decir LM es la variable dependiente y los KRV la independiente. La elasticidad obtenida es de 0.32, mientras en el análisis de causalidad de Granger, se aceptó que ambas variables se preceden, es decir que se explican conjuntamente.

2.3.3 Estudios con elasticidad c.r.a. tiempo de viaje

Desde el punto de vista teórico, el uso de las reducciones en tiempos de viaje como variable explicativa del tráfico inducido es preferible a LM o IC, ya que las reducciones en tiempos son la causa directa de que se incremente el tráfico (TRB, 1995). Se argumenta que una vialidad no generará tráfico si no reduce los tiempos de traslado, sin embargo en ese razonamiento no se incluyen efectos a largo plazo. Podría tratarse por ejemplo del caso de una vialidad que presenta flujos de tráfico con buenas velocidades, es muy probable que una ampliación de esta vialidad no induzca nuevos o más largos viajes ya que no se redujo el tiempo de viaje pero en el largo plazo permitirá que más autos se incorporen a la

vialidad. Esto no ha sido considerado por los teóricos del tráfico inducido aún. Las críticas a esta metodología se enfocan más bien a los problemas para obtener un valor de las disminuciones en tiempos de traslado pues estas reducciones varían por hora del día, día de la semana o época del año (Cervero, 2001). El cuadro 2.3 presenta un resumen de elasticidades c.r.a. tiempo de traslado.

Cuadro 2.3

Resumen Metodológico y de Elasticidades para Estudios sobre reducciones en tiempos de traslado

| Estudio (año) | Lugar | Elasticidades | |
|-----------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | | Corto Plazo | Largo Plazo |
| Domenich et al. (1968) | Boston | -0.82 a -1.02 | |
| Chan y Ou (1978) | Louisville | -0.40 | |
| Burright (1984) | EUA | -0.27 | -0.51 |
| Groenhut et al. (1986) | Sydney | -0.17 | |
| SACTRA (1994) | Reino Unido | -0.50 | -1.00 |
| Goodwin (1996) | Reino Unido | -0.28 | -0.57 |
| Cambridge Systematics Inc. (1998) | EUA | -0.44 | |
| Barr (2000) | EUA | -0.30 a -0.40 | |
| DeCorla-Souza (2000) | Memphis | -0.70 | -1.10 |
| De Jong y Gunn (2000) | Europa | -0.20 | -0.74 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Cervero (2001), Cohen (1995), DeCorla-Souza (1999), De Jong y Gunn (2000), Goodwin (1996 y Noland y Lemm (2000)

El promedio de elasticidades obtenido del cuadro 2.3 es de -0.42 para el corto plazo y de -0.78 para el largo plazo. Lo que significa que una disminución de del 10% en el tiempo de viaje afectaría al tráfico incrementándolo en 4.2% en el corto plazo. En el largo plazo, el promedio de estos estudios nos dice que la respuesta sería un incremento del 8% en los KRV ante una reducción de 10% en el tiempo de traslado. Las elasticidades de KRV c.r.a. tiempo y c.r.a. LM son muy similares pero con signo contrario.

2.4 Críticas a la Teoría del Tráfico Inducido

En el marco de la 76^{ta} reunión anual del TRB se dio luz a otro documento dedicado a los impactos de la expansión de la capacidad vial y el tráfico inducido. Entre los cuatro artículos que conforman el documento se incluye uno que no representa la postura general ante este fenómeno del TRB. En su artículo, Heanue (1998) concluye que el papel de la expansión de la vialidad ha tenido un efecto muy pequeño en el crecimiento del tráfico comparado con otras variables que considera mucho más importantes como el crecimiento de la población de las familias y del empleo, así como el incremento del ingreso personal, la posesión de autos, el crecimiento económico regional y el precio de las gasolina. Citando a Robert Dunphy del Instituto del Suelo Urbano dice que “incrementar la capacidad vial es como comprar zapatos más grandes a un niño en pleno crecimiento” (Heanue, 1998, p. 44). Los pies del niño crecerán se compren o no los zapatos, “resultaría irresponsable no prepararse para ello” (Heanue, 1998, p. 44). El contra argumento a este razonamiento es que “ampliar las vialidades para resolver los congestionamientos es como tratar de curar la obesidad aflojando el cinturón” de Roy Klientz, citado por Litman (2003, p. 17).

Se ha argumentado también que no todo el tráfico es malo y que intentar cobrar por el uso de vialidades no sería equitativo, esto se dice a pesar de que son los estratos más altos de la sociedad quienes utilizan en mayor medida la infraestructura vial. También argumentan que aunque induzcan alguna cantidad de tráfico, las mejoras viales siguen trayendo beneficios netos y agilizan la movilidad. Finalmente, afirman que la descentralización de las urbes, es decir, la expansión de la mancha urbana poco tiene que ver con las ampliaciones de la oferta vial.

Los críticos del tráfico inducido, motivados por cuestiones ideológicas como las mencionadas anteriormente, se han esforzado por descubrir deficiencias en la metodología que se ha utilizado en los estudios empíricos que prueban la existencia de dicho fenómeno. Los problemas metodológicos a los que se enfrentan los estudios de tráfico inducido son: 1) la variable explicativa (LM) no toma en cuenta niveles de congestión, 2) la delimitación del área de estudio forzosamente provoca alguna pérdida de información, 3) la presencia de multicolinealidad en las variables puede sesgar los coeficientes de las variables, 4) hay dificultad para determinar el sentido de la causalidad y 5) la diferenciación entre efectos de corto y largo plazo no siempre es clara (Transtech Management Inc. y Hagler Bailly, 2000)

Por fortuna, todos los problemas metodológicos que se han esgrimido contra la evidencia del tráfico inducido son menores y han sido resueltos mediante distintas técnicas estadísticas y adecuaciones teóricas. Además de ello, pocos se han dado a la tarea de demostrar empíricamente la inexistencia del tráfico inducido. Un estudio reciente (Mokhtarian, *et al.* 2002) utiliza el enfoque CR con los datos del primero de los estudios de Hansen y aplica tres distintas técnicas para concluir que las tasas de crecimiento del tráfico en los segmentos ampliados y los no ampliados, que sirven de control, son prácticamente las mismas. Esto es, el tráfico inducido, si existe en realidad, es menor al que Hansen estimó en 1993. Para los fines de los teóricos partidarios de la existencia del tráfico inducido, el estudio de Mokhtarian *et al.*, solo nos confirmaría que el enfoque CR no es el más adecuado. No existen aún críticas formalizadas hacia los otros enfoques. Formular una resultará difícil ya que las bases teóricas y empíricas con las que cuenta actualmente la teoría del tráfico inducido son bastante sólidas y contundentes.

3. Modelo Econométrico de Corrección de Errores para la Demanda de Gasolina en la ZMCM

En los capítulos anteriores se recopiló la teoría y evidencia empírica del tráfico inducido hasta nuestros días, y se realizó una descripción de los elementos que se consideran más relevantes de la ZMCM en cuanto a movilidad, medio ambiente, economía y demografía. En este tercer capítulo se desarrolla un modelo de demanda regional de gasolina para el Valle de México cuyos resultados arrojarán la evidencia empírica del tráfico inducido. Así, es esta la parte central del trabajo de investigación que nos dará la pauta para proseguir con las implicaciones y alternativas que se verán en los capítulos cuarto y quinto respectivamente.

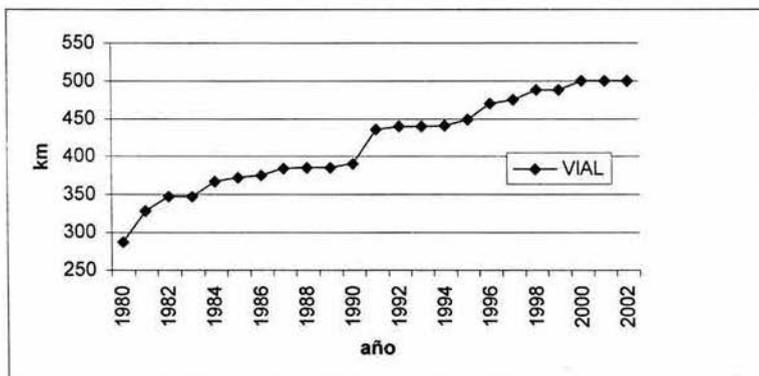
3.1 Marco Teórico

Con el fin de demostrar la existencia del fenómeno del tráfico inducido en la ZMCM, se elabora un Modelo Econométrico de Corrección de Errores (MECE), de acuerdo a la metodología de Engel y Granger (1987), el cual incluye tanto las relaciones de equilibrio o de largo plazo entre las variables como las de corto plazo. Para ello se requiere primero estimar un vector de cointegración que en este caso será obtenido mediante el método de Johansen. Como se puede constatar en el segundo capítulo, a pesar de que se han utilizado diversas metodologías para estimar el tráfico derivado de las ampliaciones viales, hasta el momento ningún estudio se ha elaborado desde el enfoque de la cointegración el cual presenta ventajas en términos de la eficiencia de los parámetros y la posibilidad de estimar

relaciones de equilibrio entre un conjunto de variables. Estas ventajas son revisadas solo someramente en las siguientes secciones²⁴.

En el caso del presente estudio es particularmente adecuada la implementación de la metodología de series de tiempo ya que aunque no se cuenta con una serie estrictamente larga, las observaciones son suficientes para encontrar una relación de largo plazo. Por otro lado, se ha argumentado que el discontinuo y esporádico crecimiento de la infraestructura vial es un impedimento para realizar análisis de series temporales. Para este estudio, quizá no tanto para el buen funcionamiento de la ciudad, ha resultado benéfico el continuo crecimiento en la red vial primaria que nosotros consideramos como la suma de kilómetros lineales en vías de acceso controlado y ejes viales. No se incluye en esta serie la vialidad principal debido a serias inconsistencias estadísticas en las fuentes consultadas. La siguiente gráfica nos muestra el crecimiento de la red vial primara en el DF.

**Gráfica 3.1. Red Vial Primaria en el DF
1980-2002**



Fuente: Elaboración propia con datos de *Anuario de Transporte y Vialidad* del DDF y GDF (varios años)

²⁴ Para ahondar en el tema ver Maddala y Kim (1998); y Ericsson (1992).

Es preciso señalar que a la par de este estudio, en la actualidad se están realizando otros dentro del grupo de trabajo para México del *Programa Integral de Contaminación del Aire Urbana, Regional y Global del MIT* con la misma metodología con base en datos nacionales cuyos resultados preliminares serán comparados con los de la ZMCM más adelante.

3.1.1 Procesos Estocásticos Estacionarios, Camino Aleatorio y Regresión Espuria

Los valores de una serie de tiempo se pueden caracterizar como una función de densidad de probabilidad especificada por la media y la varianza. Dichos valores son originados por un proceso desconocido, de allí el calificativo de *estocástico* o *aleatorio*, llamado *Proceso de Generación de Datos*. En la práctica es de particular interés definir si el proceso estocástico es o no estacionario.

La econometría de series de tiempo se ha desarrollado en gran parte alrededor de la aplicación de pruebas estadísticas que revelen el orden de integración de las series ya que para fines de inferencia se supone que estas son estacionarias o tienen orden de Integración Cero, $I(0)$, es decir, que tiene media cero y varianza constante ($\mu=0, \sigma^2=x$)²⁵. Cuando las variables de un modelo cumplen con estas características podemos estar seguros que no estamos corriendo una regresión espuria, liberándonos de muchos problemas de inferencia asociados a esa condición²⁶. Las regresiones espurias o falsas, pueden presentar muy buenos estadísticos R^2 , t y F , sin embargo pudieran estar mostrando una relación entre las

²⁵ En realidad además de estas dos características debe cumplir con que el valor de la covarianza entre dos periodos dependa solamente de la distancia entre ellos y no del tiempo en que se ha calculado. Se le conoce estrictamente como *proceso estocástico débilmente estacionario*.

²⁶ Para ahondar en las características y consecuencias de las regresiones espurias ver Granger y Newbold (1974).

variables simplemente porque presentan un mismo comportamiento en el tiempo, a pesar de que teórica y lógicamente no tuvieran relación alguna. En el extremo, pensemos por ejemplo, en el crecimiento de la población urbana en México y el crecimiento de las ventas de automóviles en Europa. Ambas variables registran una misma tendencia positiva en el tiempo y quizá por ello podríamos obtener un buen estimador de esa relación si corremos las series en niveles, sin embargo, es claro que la relación entre estas variables no es real.

Las series integradas de orden n es decir, que no son $I(0)$ se conocen también como camino aleatorio (C.A.) debido a lo siguiente²⁷:

$$(1) y_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$$

que por sustitución y suponiendo $y_0=0$, podemos transformar en,

$$(2) y_t = \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_{t-i}$$

Esto es, el valor de y_t es la suma de un número infinito de innovaciones o errores. Aplicando esperanza matemática y varianza a la ecuación (2) se prueba que la media de y_t es cero pero su varianza depende de t y es infinita. Claramente, el C.A. es un proceso estocástico no estacionario.

3.1.2 Pruebas de Raíces Unitarias

El término *raíz unitaria* se deriva de la ecuación (1), en la que si introdujéramos un coeficiente ρ para y_{t-1} , tendríamos $\rho=1$. Las pruebas de raíces unitarias se basan normalmente en la siguiente transformación de la ecuación (1) con coeficiente ρ de la cual se resta y_{t-1} de ambos lados.

²⁷ El orden de integración es el número de veces que es necesario diferenciar una serie para que sea estacionaria.

$$(3) \Delta y_t = \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t$$

a la ecuación (3) se le pueden incluir rezagos para evitar posibles problemas de autocorrelación:

$$(4) \Delta y_t = \alpha y_{t-1} + \delta_i \sum_{i=1}^m \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t$$

donde en ambas, $\alpha = \rho - 1$, de tal manera que la prueba de hipótesis se plantea de la siguiente forma:

$$H_0: \alpha=0$$

$$H_1: \alpha < 0$$

Si se rechaza la hipótesis nula entonces la serie es estacionaria, en caso contrario podemos decir que la serie presenta C.A. y es una serie integrada de orden d que es necesario diferenciar d veces para obtener una serie $I(0)$.

La ecuación (4) es la que se utiliza para la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF) a la cual se le puede incluir constante y tendencia. Para rechazar H_0 se utilizan los valores críticos de Dickey-Fuller²⁸. Existen muchas otras pruebas para obtener el orden de integración de las series, sin embargo en este trabajo nos parece suficiente presentar los

²⁸ Dickey y Fuller (1981)

estadísticos de ADF, Phillips-Perron (PP) y KPSS²⁹ basadas en los mismos principios, excepto que la última invierte la prueba de hipótesis, donde rechazar H_0 significaría que la serie tiene raíz unitaria.

Una manera de solucionar los problemas asociados a las regresiones espurias que utilizan series que presentan C.A. es especificando la regresión en diferencias, sin embargo de esta manera pudiera estarse perdiendo información valiosa de la relación de largo plazo entre las variables. Los MECE resuelven esta disyuntiva al incluir tanto los *shocks* de corto plazo como la relación de equilibrio en el largo plazo. Para poder implementar un modelo de este tipo es necesario probar que las series están cointegradas.

3.1.3 Cointegración y MECE

En el caso de que las series no sean $I(0)$ o no cuenten con el mismo orden de integración, aún es posible hacer buenas estimaciones si estas cointegran³⁰. Son dos los métodos más recurridos para demostrar que las series están cointegradas. El primero de ellos es el de Engel y Granger (1987), en el que se hacen las pruebas de raíces unitarias comentadas anteriormente pero esta vez sobre los errores de la ecuación de largo plazo (ecuación 5 con i variables). El segundo se basa en el uso de vectores autorregresivos (VAR) y fue desarrollado por Johansen (1988). Aunque por ambos métodos encontramos lo que se conoce como Vector de Cointegración o VC (ecuación 6 con i variables), en este trabajo utilizamos el de Johansen que traslada la prueba ADF al contexto multivariado y elimina muchos de los problemas que presenta el método original de Engle-Granger (EG). Con

²⁹ Phillips y Perron (1988) y Kwiatkowski et al. (1992)

³⁰ Una manera de describir la cointegración entre dos o más variables es que se cancela el componente tendencial de estas al combinarlas linealmente. Esto ocurre si crecen aproximadamente a la misma tasa.

Johansen, entre otras ventajas, se incluye la dinámica del proceso estocástico y se puede conocer el número de VCs (ver Ericsson, 1992 para más detalles sobre esta discusión).

$$(5) \varepsilon_t = y_t - \beta_i x_{it}$$

$$(6) y_t = \beta_i x_{it}$$

Después de estimar el VC el paso natural a seguir es la especificación del MECE (ecuación 7) donde se incluyen los errores del vector de cointegración o Mecanismo de Corrección de Errores (ECM por sus siglas en inglés) rezagados un periodo y las demás variables se introducen en el sistema en primeras diferencias en t y con algunos rezagos de acuerdo a información *a priori*, procediendo posteriormente a eliminar variables no significativas, es decir, de lo general a lo específico de acuerdo a la terminología de Hendry (1995).

$$(7) \Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta z_{it} + \lambda(y_{t-1} - \beta_i x_{t-1}) + \varepsilon_t$$

o lo que es igual,

$$(8) \Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta z_{it} + \lambda ECM_{t-1} + \varepsilon_t$$

donde α_i son parámetros a estimar de las variables z_i de las cuales podemos incluir también rezagos. El *ECM* es el error de equilibrio rezagado y λ debe ser menor a uno y significativo para que el MECE tenga sentido.

3.2 Datos y Modelo

3.2.1 Datos

Las series que se incluyen en el modelo y que pueden consultarse en el cuadro B.2 del Apéndice Estadístico son las siguientes:

- *GAS* = Volumen de venta de los distintos tipos de gasolinas automotores en el Valle de México expresada en miles de barriles diarios
- *PIB* = Producto Interno Bruto Nacional en millones de pesos de 1993
- *VIAL* = Suma de kilómetros lineales en vías de acceso controlado y ejes viales en el Distrito Federal
- *PG* = Precio real ponderado de gasolinas por litro en el Valle de México 2002=100
- *PA* = Precios Relativos de Automóviles en la ZMCM

Las series de *GAS* y *PG* se obtuvieron de PEMEX Refinación por medio del Sistema de Solicitud de Información (SISI) en la página web del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI). El *PIB* se construyó con los datos que se encuentran disponibles en la sitio web del Banco de México (BM) de 1988 a 2002 y para el resto del periodo con datos del SCNM en la página del INEGI. Para *PA* casi todo el periodo se cubre con los datos de la página del BM excepto de 1980 a 1982, años en los que se utiliza la información de NAFIN (1988). La serie que más trabajo requirió para construirse fue *VIAL*, para la cual fue necesario hacer un análisis profundo de varios documentos publicados primero por la Coordinación General de Transporte (CGT) del DDF y posteriormente por la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del DDF y GDF a partir de 1997 (DDF y GDF, varios

años) para poder compatibilizar la inconsistente información que en dichos documentos es presentada. Los anuarios fueron amablemente puestos a mi disposición por la Subdirección de Infraestructura de la SETRAVI.

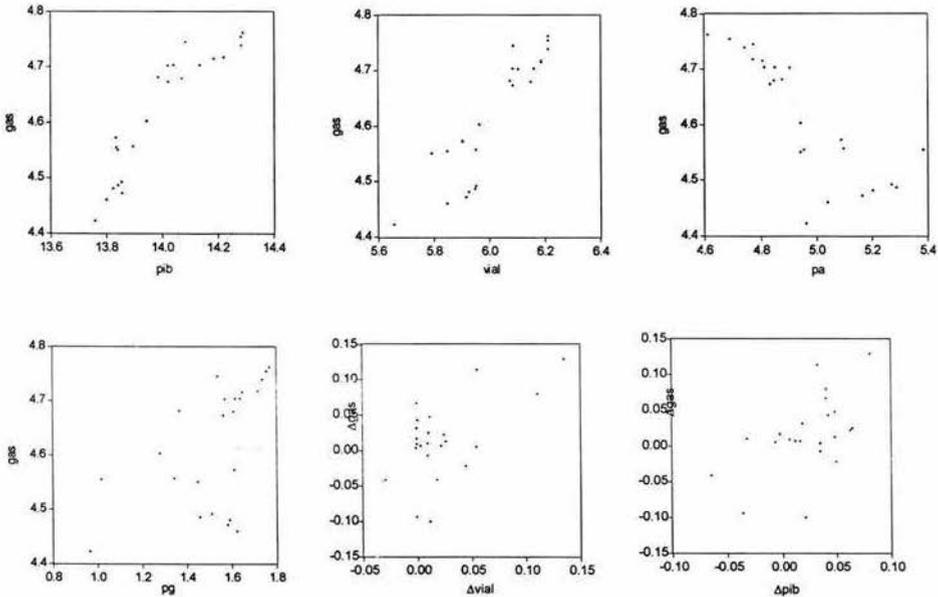
Cabe destacar que se utilizó el PIB nacional ya que la serie para el DF es anual solo de 1993 a 2001, para años anteriores se cuenta con datos quinquenales en el mejor de los casos. Se optó por incluir esta serie nacional en vez de realizar interpolaciones de la del DF ya que esto podría omitir algunas variaciones importantes mientras que como hemos visto en el primer capítulo, el PIB nacional y el PIB del DF mantienen una trayectoria muy similar. Por otro lado, a diferencia de la mayor parte de los modelos revisados sobre tráfico inducido, en este no se incluye población (*POB*) ni PIB per cápita (*PIBpc*) que en aquellos fue posible introducir debido a que se trabajó con datos de sección cruzada o panel, para los cuales no es difícil contar con datos reales de ambas variables en cada una de las observaciones. En nuestro caso, suplimos estas deficiencias utilizando la serie del *PIB* que incluye tanto los efectos de *POB* como del *PIBpc*³¹. El problema que persistirá es no poder identificar con exactitud las elasticidades de ambas variables ya que se encuentran englobadas en una sola, sin embargo también es preciso señalar que nuestro interés primordial es medir el impacto del incremento en la capacidad vial sobre el consumo de gasolina, esto evidentemente sin excluir variables decisivas.

Por último, cabe señalar que todas las series son anuales y en lo siguiente, se representarán con letras minúsculas los logaritmos de estas y con el símbolo Δ sus primeras diferencias. En las siguientes gráficas podemos observar la relación entre las distintas variables

³¹ $PIBpc = PIB / POB$ o lo que es igual $PIB = POB * PIBpc$

independientes y *GAS*. De estas gráficas es clara la relación positiva que existe entre *pib* y *vial* con *gas*. Por su parte también resulta muy evidente la pendiente negativa de la curva que relaciona a *gas* con *pa*, sin embargo esto tiene un componente tendencial muy fuerte ya que los precios de los automóviles han caído, como consecuencia tanto de las innovaciones tecnológicas mundiales en la producción de vehículos como de la apertura comercial, a la vez que *gas* ha crecido en este periodo por otras causas. Sin duda se piensa que *pa* debe tener una influencia sobre *gas* de otra forma no hubiera sido incluida en el modelo, sin embargo no se considera que pudiera ser tan fuerte como la gráfica lo sugiere.

Gráficas 3.1
Correlación entre las Variables



La otra variable de precios, *pg*, no muestra en la gráfica una relación muy clara y esto se debe a que hubo años de mucho desequilibrio macroeconómico dentro del periodo de

estudio que pudieran opacar la verdadera influencia de pg . Finalmente se muestra la correlación entre Δgas con Δpib y $\Delta vial$, resultando positivas aunque evidentemente menos fuertes que en niveles.

3.2.2 Modelo

Aunque en algunos estudios sobre tráfico inducido se han empleado otras variables como densidad de población y empleo femenino, las variables que estamos considerando son las que se han incluido en la mayoría de dichos estudios con la excepción de PA , la cual no se había incluido en ninguno de ellos³². Recordemos que hasta el momento no se había realizado ningún estudio sobre este fenómeno en nuestro país y que los que se han realizado han tenido como objeto áreas de países desarrollados que no han experimentado cambios drásticos en los niveles de precios.

El presente estudio de tráfico inducido cae en la categoría de los más robustos ya que en primer lugar se realiza con base en las técnicas econométricas más consistentes en el análisis de series de tiempo. En segundo lugar, se realiza sobre un área de estudio bastante amplia y bien delimitada como es la ZMCM. Y en tercer lugar, el uso de $VIAL$ como variable de oferta es adecuada en este caso ya que en el periodo analizado las vialidades han estado siempre congestionadas, además de que ha mantenido un crecimiento constante en el periodo. Del capítulo dos retomemos la crítica usual hacia el uso de kilómetros en vialidades como variable de oferta, que descansa sobre el argumento de estas no capturan los verdaderos impulsos hacia los viajeros como podría ser la disminución de los tiempos de traslado. Dicho argumento procede cuando tratamos con vialidades que cuentan con

³² No se ha incluido en estudios de tráfico inducido pero sí en algunos de demanda de energía.

bajos niveles de congestamiento, lo cual evidentemente no ha sido el caso para la ZMCM.

Del resto de las críticas podemos decir que nuestro estudio podrá sugerirnos la causalidad de la relación entre KRV y $VIAL$ mediante la prueba de Granger-Sims en la sección 3.5. Por su parte el MECE permitirá separar las relaciones de corto y largo plazo, mientras el uso de primeras diferencias en las variables atacará también problemas de multicolinealidad.

Se estimará el siguiente VC para introducirlo en el MECE. Las variables originales se transforman a logaritmos debido a que de las gráficas 3.1 pareciera que las relaciones son lineales y porque se facilita la interpretación cuando se utiliza logaritmos que resultan en un modelo de elasticidad constante.

$$(VC) \quad gas = \beta_1 pib + \beta_2 vial + \beta_3 pg + \beta_4 pa$$

$$(MECE) \quad \Delta gas_t = \alpha_0 + \beta_i \sum_{i=1}^4 \Delta gas_{t-i} + \delta_i \sum_{i=0}^4 \Delta pib_{t-i} + \gamma_i \sum_{i=0}^4 \Delta vial_{t-i} + \theta_i \sum_{i=0}^4 \Delta pg_{t-i} + \eta_i \sum_{i=0}^4 \Delta pa_{t-i} + \lambda ecm_{t-1} + \varepsilon_t$$

donde ecm son los errores del VC.

3.3 Resultados

Comenzaremos por definir el orden de integración de las series. En el cuadro 3.1 se presentan los resultados de las pruebas de raíces unitarias de Dickey-Fuller Aumentada (ADF), Phillips- Perron (PP) y KPSS para las variables de nuestro modelo.

Los rezagos de la prueba ADF se incluyeron de acuerdo al método *t*-sig (Ng y Perron, 1995), en el cual se comienza incluyendo cierto número de rezagos (cuatro en este caso) y se van eliminando hasta que el último sea significativo. Para PP los rezagos son la raíz cúbica del número de observaciones y para KPSS la raíz cuadrada.

Cuadro 3.1
Pruebas de raíces unitarias

| Variable | ADF | | | PP(3) | | | KPSS(5) | |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | A | B | C | A | B | C | η_{μ} | η_{τ} |
| <i>gas</i> | 1.072(3) | -1.312(3) | -3.593(3) | 1.626 | -1.499 | -3.052 | 0.463 | 0.081 |
| Δ <i>gas</i> | -1.289(2) | -1.669(2) | -6.667(0) | -6.352 | -6.765 | -6.597 | 0.108 | 0.088 |
| <i>pib</i> | 3.203(0) | 0.919(0) | -1.899(0) | 3.611 | 0.255 | -1.813 | 0.494 | 0.141 |
| Δ <i>pib</i> | -3.774(0) | -4.816(0) | -3.358(4) | -3.851 | -4.809 | -5.244 | 0.178 | 0.116 |
| <i>vial</i> | 3.158(0) | -2.939(0) | -5.153(0) | 3.231 | -2.994 | -5.263 | 0.517 | 0.155 |
| Δ <i>vial</i> | -4.562(0) | -5.540(0) | -5.455(0) | -4.641 | -6.693 | -6.532 | 0.380 | 0.120 |
| <i>pg</i> | 0.946(1) | -1.420(1) | -3.787(2) | 0.894 | -3.699 | -4.732 | 0.471 | 0.088 |
| Δ <i>pg</i> | -9.772(0) | -9.859(0) | -9.533(0) | -9.488 | -9.971 | -9.633 | 0.167 | 0.117 |
| <i>Pa</i> | -0.669(1) | -0.836(1) | -2.732(1) | -0.765 | -0.700 | -1.874 | 0.366 | 0.105 |
| Δ <i>pa</i> | -2.603(0) | -2.637(0) | -2.905(0) | -2.658 | -2.677 | -2.953 | 0.198 | 0.088 |

Notas: Los valores en negritas representan el rechazo de la hipótesis nula al 5%. Los valores críticos al 5% de significancia para la prueba Dickey-Fuller Aumentada y Phillips-Perron para una muestra de $T = 100$ son -1.95 sin constante y tendencia (modelo A), -2.89 incluyendo constante (modelo B) y -3.45 incluyendo constante y tendencia (modelo C), (Maddala y Kim, 1998, p. 64). η_{μ} y η_{τ} representan los estadísticos de la prueba KPSS donde la hipótesis nula considera que la serie es estacionaria en nivel ó alrededor de una tendencia determinística respectivamente. Los valores críticos al 5% de ambas pruebas son 0.463 y 0.146, respectivamente (Kwiatkowski et. al. 1992, p. 166). Los valores entre paréntesis representan el número de rezagos. Período 1980 – 2002.

Del cuadro 3.1 se desprende que la mayoría de las variables son $I(1)$ con la excepción de *vial* y *pg* las cuales parecieran ser $I(0)$. No hay comparaciones posibles con otros estudios de tráfico inducido ya que como mencionábamos anteriormente no se habían realizado bajo esta metodología. De cualquier manera para comprobar si las series cointegran, se recurre al método de Johansen cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.2.

Los resultados de la prueba de Johansen nos revelan que existen al menos dos vectores de cointegración sugiriendo que pudieran existir soluciones múltiples, sin embargo el método toma el vector asociado a la raíz característica máxima. Las pruebas de diagnóstico pueden ser consultadas en el cuadro B.3 del Apéndice Estadístico y nos indican que el VAR esta bien especificado.

Cuadro 3.2.
Prueba de Cointegración Basada en el Procedimiento de Johansen

$$gas = \beta_1 pib + \beta_2 vial + \beta_3 pg$$

| Ho | Traza | 95% | λ -max | 95% |
|------------|---------|------|----------------|------|
| $r = 0$ | 95.63** | 47.2 | 46.73** | 27.1 |
| $r \leq 1$ | 48.9** | 29.7 | 34.16** | 21.0 |
| $r \leq 2$ | 14.73 | 15.4 | 11.56 | 14.1 |
| $r \leq 3$ | 3.172 | 3.8 | 3.172 | 3.8 |

Notas: (**) rechazo al 1% de nivel de significancia. λ -max = prueba de la raíz característica máxima; Traza = prueba de la traza; r = número de vectores de cointegración. Número de rezagos 3. Período 1980 – 2002.

(VC) $gas = 0.40862pib + 0.87112vial - 0.76183pg$

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

En la relación de largo plazo, representada por el VC no se incluyó *pa* debido a que los resultados mejoraron al excluirlo. Resulta interesante, que contrario a todos los estudios del capítulo dos, el valor del coeficiente de *pib* haya resultado menor que el de *vial*. Como ya se ha mencionado aquellos estudios toman como objeto áreas de países desarrollados cuyas impactos macro y micro económicos son muy distintos al incrementarse el ingreso. En otros estudios pero de demanda de energía para Latinoamérica y en particular para México (Eskeland, 1997; Pindyck, 1979; Berndt y Botero, 1985) se han encontrado elasticidades más elevadas para *PIB*, sin embargo dichos estudios se han hecho a nivel nacional y la mayoría de las veces no incluyen variables de oferta vial. Un estudio de Galindo *et al* (2004) para México con una metodología muy similar al del presente trabajo encuentra una elasticidad casi idéntica para *pg* pero de 0.79 para *pib* y 0.28 para *vial*. Ello nos indica que las causas que han llevado a incrementos en *gas* han sido distintas a nivel nacional que en la ZMCM cuyo crecimiento económico y demográfico ha sido menor al del promedio nacional.

En el caso particular de nuestro estudio, el hecho de que la elasticidad sea mayor para *VIAL* que para *PIB*, pudiera estar vinculado a dos fenómenos principalmente: Por un lado el crecimiento de la población en la ZMCM se presenta principalmente en las clases bajas que aunque se establecen en la periferia de la ciudad y realizan viajes largos, se trasladan por medio del transporte público principalmente, del cual solo una parte opera a base gasolina y que además transportan mucho más pasajeros por litro de gasolina que un automóvil particular. Por otro lado el escaso crecimiento del ingreso per cápita no se ha reflejado en un aumento de la clase media metropolitana, sino en un enriquecimiento mayor de las clases medias y altas cuyas necesidades de viaje en auto particular ya estaban satisfechas

casi completamente al inicio del periodo que analizamos. En otras palabras, que la elasticidad del *PIB* no haya sido más alta como otros estudios sugieren se debe a que los incrementos en esta variable solo han repercutido parcialmente en la demanda de gasolina. La realidad que demuestra este análisis es que ha sido la capacidad vial la que ha permitido incrementar los *KRV* o el consumo de gasolina. Los viajes más frecuentes y cada vez más largos de las clases medias y altas para desplazarse de sus casas a sus centros de trabajo y estudio solo han sido posibles gracias al desarrollo de la infraestructura vial metropolitana. Sin dicho desarrollo sería imposible concebir los actuales patrones de viaje que originan tanto las clases bajas como las medias y altas que se establecen en las afueras de la ciudad por muy distintos motivos: los primeros por ser la única opción y los segundos por escapar de los ajetreos del centro de la metrópoli.

La elasticidad de *VIAL* es de 0.87, consistente con el valor promedio de 0.80 que obtuvimos para los estudios más recientes de la sección 2.3.2. Parecería ser que existe entonces un tráfico suprimido de manera perenne en la ZMCM, es decir una eventual demanda de viajes que se realiza cada vez que se le permite gracias a los incrementos en la capacidad vial. Las fuerzas que originan esa demanda potencial de viajes son económicas y demográficas pero quien les da cabida, quien en realidad las libera, es la ampliación de la infraestructura vial.

Para conocer los impactos de corto plazo de las variables que hemos considerado decisivas para la conformación del tráfico en la ZMCM, se estimó el MECE donde se incorpora el ECM y las variables que resultaron significativas operando de lo general a lo específico conforme a Hendry(1995). Los estadísticos *t* entre paréntesis nos indican que todos los coeficientes son significativos a menos del 1% de significancia.

MECE:

$$\begin{aligned} \Delta gas_t = & -2.597 - 0.561\Delta gas_{t-1} + 0.3757\Delta pib_{t-4} + 0.5663\Delta vial_{t-3} - 0.20\Delta pg_t \\ & (-7.12) \quad (-6.45) \quad (3.72) \quad (3.90) \quad (-4.52) \\ & - 0.22\Delta pa_{t-1} - 0.50ecm_{t-1} \\ & (-3.79) \quad (-7.14) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.93$$

$$DW = 2.39$$

$$AC\ LM(2) = F: 0.7957 (0.48)$$

$$ARCH\ LM(2) = F: 1.50 (0.2587)$$

$$JB = 0.60 (0.7391)$$

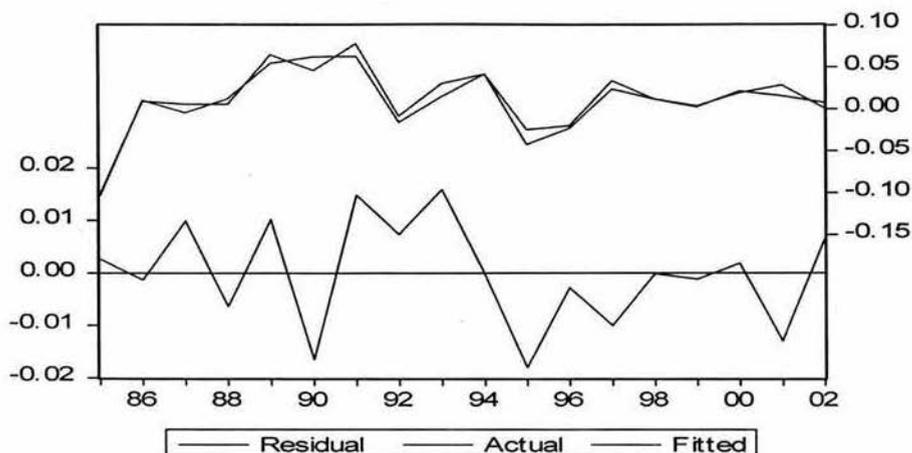
$$RMSE = 0.009705$$

Las pruebas de diagnóstico sobre los errores de la ecuación son rechazadas, lo que nos permite concluir que el modelo está bien especificado y cumple con los supuestos del modelo clásico sobre los errores, esto es, que se distribuyen normalmente (prueba JB), y no presentan autocorrelación (pruebas DW y AC LM) ni heteroscedasticidad (prueba ARCH LM)³³.

El modelo ajusta bastante bien ya que el R^2 nos dice que el 93% de las variaciones de *gas* son explicadas por el modelo y la Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE) nos dice que el rango de error es tan solo del 1% al hacer pronósticos. Sin duda, el modelo simula con mucha certidumbre y precisión la dinámica de *gas* en el periodo analizado.

³³ En las pruebas AC y ARCH tenemos entre paréntesis del lado izquierdo el número de rezagos utilizados. Para todas las pruebas del lado derecho entre paréntesis la probabilidad de Error Tipo I. Es útil recordar que en las pruebas JB, ARCH y LM queremos aceptar H_0 para que los supuestos sobre los errores se cumplan.

Gráfica 3.2.
Ajuste del Modelo



En el modelo econométrico final, donde se incluyen las respuestas de corto plazo, resultó importante la presencia de pa pero rezagado en un periodo, esto debido a que requiere un poco de tiempo para que las familias en posibilidades de adquirir autos opten por uno más al bajar el precio de estos. El impacto de pa es casi del mismo orden (una elasticidad alrededor del 0.2%) que el de pg , confirmándonos que pa no podría resultar una buena variable de política ya que tampoco se incluyó en el VC. Por su parte pg sí podría utilizarse como instrumento para disminuir los KRV o el consumo de gasolina pues aunque su impacto en el corto plazo no es muy grande, tiene una relación muy fuerte con gas en el largo plazo.

Resulta interesante que las variaciones en el pib de cuatro periodos atrás sean decisivas en la determinación de la demanda de gasolina. Esto pudiera explicarse por el retardo con que

se reflejan los cambios económicos y demográficos en los patrones de viaje. Un ejemplo esclarecedor es el que un recién nacido no demanda viajes sino hasta que cumple cuatro años aproximadamente, cuando comienza a ir a la escuela, antes de esta edad la demanda de viajes ligados directamente a incrementos en la población se debe solo a esporádicas visitas al médico. En nuestro modelo, las elasticidades de corto plazo tanto para *pib* como para *vial* son menores a las de largo plazo tal como nos lo sugiere la teoría que revisamos en el segundo capítulo.

La elasticidad para el corto plazo de *VIAL* (0.56) es también consistente con el promedio de elasticidades (0.48) de la sección 2.3.2 en el que se consideran los estudios mejor especificados que han recurrido a diversas metodologías econométricas a partir de los noventa. De hecho, la elasticidad que hemos obtenido para *VIAL* en el corto plazo es idéntica a la de Cervero y Hansen (2001) mientras para el largo plazo es muy similar (0.87 y 0.80 respectivamente). Aunque debemos ser cautelosos en cuanto a los resultados ya que se utilizó a la demanda de gasolina en vez de *KRV* como variable dependiente para demostrar el tráfico inducido³⁴, estos resultados son poderosos tanto teórica como estadísticamente y de acuerdo a ellos se revelaría que gran parte de la demanda de gasolina actual de la ZMCM se hubiera presentado aún sin incrementos en el *PIB*.

Por su parte, el coeficiente en *ecm* nos muestra que el ajuste hacia el nivel de equilibrio se produce muy rápido, corrigiendo en tan solo un periodo el 50% de las desviaciones. Esto

³⁴ En el peor de los casos, las elasticidades estarían ligeramente subestimadas ya que en el periodo se ha incrementado la eficiencia del combustible. Es decir, es probable que las elasticidades fueran un poco mayores al utilizar *KRV* en vez de *GAS*. Las variaciones serían pequeñas en los resultados dado que en este periodo de 22 años en realidad las mejoras en cuanto a kilómetros recorridos por litro de gasolina no han sido muchas.

nos indica que la relación de largo plazo, representada por el VC es muy fuerte y en realidad cualquier shock es absorbido rápidamente por el sistema para regresar a la trayectoria de equilibrio.

3.4 Análisis Impulso-Respuesta

Lo que se hace con este análisis gráfico es observar que tipo de respuesta tiene una variable ante choques aleatorios de una desviación estándar en otra, mostrándonos, además de la dirección de la respuesta, el tiempo que tarda en perderse el efecto. En el siguiente conjunto de gráficas solo se presentan las relaciones relevantes para nuestro análisis; estas relaciones impulso-respuesta se basan en el VAR que da lugar al VC en 3.3.

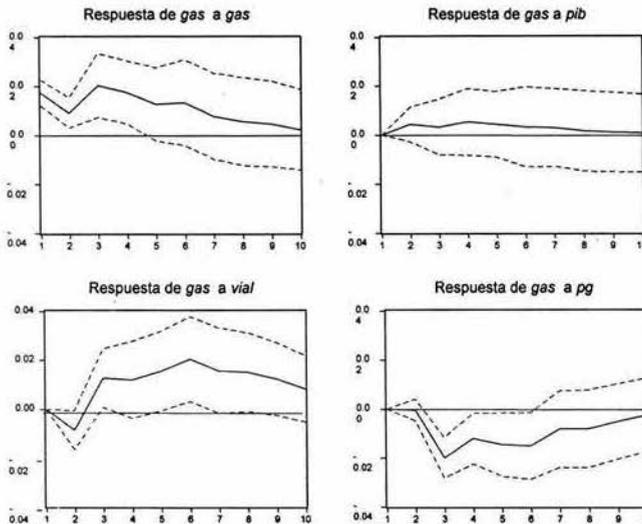
Aunque las gráficas muestran las innovaciones y un rango de más y menos dos errores cuadráticos, lo que realmente buscamos es la dirección de la respuesta y por cuantos periodos sigue siendo determinante el choque.

Vemos en la parte superior derecha que los impactos que tienen las variaciones del *pib* aunque positivos son muy ligeros mientras la respuesta de *gas* ante un shock positivo de *vial* concuerda mucho con la teoría, esto es, comienza a hacerse positivo a partir del segundo periodo alcanzando un máximo en el sexto, disminuyendo muy poco y manteniendo un efecto positivo durante el resto del periodo de 10 años.

Gráficas 3.3

Respuesta ante un choque aleatorio de una desviación estándar en cada variable

Respuesta de Una S.D. Innovaciones ± 2 S.E.



Las ampliaciones en la infraestructura vial generan efectos de larga duración debido a que en un inicio impulsan nuevos y más largos viajes, posteriormente son el medio por el que se desplazan los viajes generados por otros factores. Finalmente, los impactos de pg en gas son negativos como se esperaba, profundizándose el efecto en el tercer periodo para después mantener una trayectoria que apunta hacia el equilibrio en $t+10$.

3.5 Causalidad

Una de las críticas más fuertes hacia los modelos de tráfico inducido descansa en el hecho de no poder definir con precisión el sentido de la causalidad entre KRV (en nuestro caso GAS) y $VIAL$. Es por ello que en esta sección se trata de dar un paso más hacia la determinación del sentido de dicha relación y se procede a realizar pruebas de causalidad en el sentido de Granger (1969) y Sims (1980). Esta causalidad se deduce cuando los valores pasados de una variable x_t tienen poder explicativo sobre y_t en una regresión donde también

se incluyen valores rezagados de y . La prueba de causalidad de Granger se formula de la siguiente manera:

$$y_t = \alpha_i \sum_{i=1}^n x_{t-i} + \beta_i \sum_{j=1}^n y_{t-j} + u_t$$

donde x es la variable sobre la cual se prueba su significancia.

Prueba de hipótesis para causalidad de Granger:

$H_0: \alpha_i = 0$; x no aporta poder explicatorio adicional sobre y (x no causa a y)

$H_1: \alpha_i \neq 0$; x aporta poder explicatorio adicional sobre y (x causa a y)

La prueba se basa en un contraste F obtenido a partir de la comparación de las sumas de residuales al cuadrado (SRC) de la regresión que incluye ambas variables y la autorregresiva. El número de rezagos n puede determinarse mediante métodos estadísticos o en base a información *a priori* acerca del fenómeno. Para nuestro estudio utilizaremos cinco rezagos considerando que en cinco años todavía se presentan efectos de una variable sobre la otra. Los resultados se reportan en el cuadro siguiente.

De los resultados de las pruebas de causalidad de Granger en el cuadro 3.3 el que más nos interesa es aquel que nos indica la relación entre *vial* y *gas*. De acuerdo a nuestros estadísticos F y su respectiva probabilidad, *vial* causa a *gas* (*krv*) mientras lo contrario no ocurre necesariamente. Esto es consistente con las conclusiones de Fulton, *et. al.* (2000)

pero no con Cervero y Hansen (2001) quienes encontraron que *vial* y *krv* se determinan conjuntamente una a otra.

Cuadro 3.3.
Prueba de Causalidad de Granger

| Hipótesis Nula | Estadístico <i>F</i> | Probabilidad | Decisión |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|----------|
| <i>vial</i> no causa a <i>gas</i> | 3.79 | 0.05 | Rechaza |
| <i>gas</i> no causa a <i>vial</i> | 0.72 | 0.62 | Acepta |
| <i>pib</i> no causa a <i>gas</i> | 0.79 | 0.58 | Acepta |
| <i>pg</i> no causa a <i>gas</i> | 9.04 | 0.00 | Rechaza |
| <i>pa</i> no causa a <i>gas</i> | 4.47 | 0.03 | Rechaza |
| <i>vial</i> no causa a <i>pib</i> | 1.07 | 0.44 | Acepta |
| <i>pib</i> no causa a <i>vial</i> | 0.33 | 0.87 | Acepta |

Nota: En negritas cuando se rechaza H_0 . Prueba realizada con 5 rezagos.

Aunque es importante notar que causalidad no es lo mismo que dependencia, los resultados de la prueba de Granger apoyan nuestra hipótesis acerca del papel marginal que ha jugado el *pib* en la determinación de la demanda de gasolina para el caso de la ZMCM, ya que no se pudo rechazar que *pib* no causa a *gas*. De las pruebas también concluimos que tanto *pa* como *pg* causan a *gas*.

Se incluyó también la relación entre *vial* y *pib*, ya que por un lado se ha argumentado que la inversión en infraestructura vial es un detonador del crecimiento económico y que reducir el gasto en este renglón afectaría notablemente el desempeño económico. Mientras por otra

parte, se atribuye a los incrementos esperados en la población (incluidos en *pib*) el incremento en las vialidades. Es interesante que nuestros resultados indiquen que *vial* no causa a *pib* ni viceversa.

Las conclusiones sobre causalidad a las que nos llevan estas pruebas deben ser tomadas con cautela ya que debemos reconocer que estas pruebas se basan en un VAR que pudiera estar omitiendo variables o retardos que deberían estar presentes en la ecuación. De cualquier manera, las pruebas apoyan los resultados obtenidos en este capítulo y la teoría y evidencia empírica revisada en el capítulo dos.

En el siguiente capítulo hablaremos de las consecuencias que nuestra evidencia empírica tiene sobre el análisis económico, así como sobre el tráfico y el medio ambiente de la ZMCM.

4. Implicaciones sobre la Movilidad Urbana y el Medio Ambiente de la ZMCM

Los resultados del modelo econométrico del capítulo anterior nos revelaron que en la ZMCM hemos presenciado el fenómeno del tráfico inducido entre 1980 y 2002. A pesar de que los resultados obtenidos deben utilizarse con cautela, en el presente capítulo expondremos algunas de las consecuencias de este fenómeno sobre la movilidad y el medio ambiente en un horizonte de 10 años, así como sobre las bases del análisis económico en que descansan habitualmente las evaluaciones de proyectos de inversión en infraestructura vial.

4.1 Implicaciones sobre la Movilidad y el Medio Ambiente de la ZMCM

Los pronósticos realizados en esta sección se estiman en base a la relación de largo plazo entre las variables representada por el VC y se presentan tres escenarios para el crecimiento de la demanda de gasolina en la ZMCM. En el primero se considera que las vialidades crecen a la misma tasa histórica de los últimos 22 años, es decir a un ritmo de 2.56% anual, además de que el PIB nacional crece a una tasa de 3% anual, ligeramente superior a la experimentada entre 1980-2002 que fue de 2.44%. Se toma la tasa de 3% debido a que el periodo de estudio de nuestro modelo se caracterizó por etapas de muy bajo crecimiento que no se espera vayan a ocurrir nuevamente. En el segundo escenario, no se construyen nuevas vialidades y el PIB crece al 3% anual, mientras en el tercero de los escenarios, el PIB no crece y las vialidades lo hacen a su tasa histórica. Es importante notar que se prevé una variación nula en el precio real del litro de gasolina, lo cual está sustentado en la

estabilidad inflacionaria de los últimos años. En el cuadro 4.1 presentamos la demanda de gasolina pronosticada bajo cada uno de los supuestos.

Cuadro 4.1.
Pronósticos de Demanda de Gasolina en la ZMCM para 2012

| Variable | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
|-------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| | Crecimiento 2002-2012 | Valor en 2012 | Crecimiento 2002-2012 | Valor en 2012 | Crecimiento 2002-2012 | Valor en 2012 |
| <i>PIB</i> | 34.4% | 2'165,945 | 34.4% | 2'165,945 | 0.0% | 1'611,666 |
| <i>VIAL</i> | 28.7% | 643.81 | 0.0% | 500.01 | 28.7% | 643.81 |
| <i>GAS</i> | 39.0% | 162.49 | 14.0% | 133.26 | 25.0% | 146.12 |

Nota: Valores en 2012 son millones de pesos de 1993 para *PIB*, kilómetros lineales para *VIAL*, y miles de barriles diarios para *GAS*.

A diferencia de otros estudios, donde se ha encontrado según cálculos de Heanue (1998) que el tráfico a causa del incremento en la capacidad vial representa solo entre el 6% y el 22% del incremento total de los *KRV*, la contribución del incremento en las vialidades sería del 64% del crecimiento total en *KRV* o *GAS* para la ZMCM. Del cuadro anterior concluiríamos entonces que en la ZMCM se consumirían cerca de 30 mil barriles más de gasolina diariamente en 2012 en comparación a 2002 solamente a causa del incremento de las vialidades considerando que el PIB nacional crece al 3% anual. Esta cantidad representaría 10.33 kilómetros recorridos más diariamente por cada vehículo a gasolina, que tomando como base los 3 millones de automóviles registrados en 2000 en la ZMCM, resultan en un incremento considerable del tráfico. En otras palabras, el tráfico inducido, medido en KRV^{35} , sería del orden de los 31 millones de kilómetros diarios trayendo consigo inevitables cuellos de botella en algunas intersecciones y tiempos de traslado más

³⁵ Las transformaciones a *KRV* se realizan sobre el rendimiento promedio para 1998 de 6.5 kms por litro de los vehículos a gasolina (CAM, 2001). También es preciso mencionar que un barril de gasolina es igual a 159 litros de ese mismo combustible (IEA, 2001).

prolongados. Debemos de considerar que actualmente se recorren alrededor de 120.8 millones de kilómetros diariamente en vehículos a gasolina y que un incremento del 25% en el tráfico más allá del generado por factores demográficos que sería del 14% bajo los supuestos del primer escenario, resultaría realmente caótico para la ZMCM. Los cerca de 168 millones de *KRV* diarios que resultan del primer escenario implicarían para los metropolitanos disponer un mayor presupuesto de su tiempo y paciencia para los traslados cotidianos.

De los tres escenarios, el menos preocupante sería el segundo, donde el *PIB* crece a una tasa del 3% anual pero las vialidades no sufren ampliación alguna. Esto implicaría que se mantiene una demanda potencial de viajes no realizada igual a los 31 millones de *KRV* diarios que se mencionaban anteriormente y que el incremento observado sería solamente de 17 millones de *KRV* diarios aproximadamente. Las fuerzas demográficas que empujan la demanda de viajes en vehículos a gasolina serían contrarrestadas por la capacidad vial insuficiente. En dado caso, esto debería ser a su vez compensado por un incremento en la extensión y calidad de los servicios de transporte público masivo, y por una serie de mecanismos que se comentarán en el quinto capítulo, con la finalidad de no impactar negativamente en el bienestar de los habitantes.

Suponiendo que el incremento del *PIB* es cero entre 2002 y 2012, a la vez que la infraestructura vial crece a su tasa histórica del 2.56% anual, el incremento en el consumo de gasolina sería de un 25% (31 millones de *KRV* diarios), esto como producto solamente del tráfico inducido.

Dada la importancia del efecto del tráfico inducido en la ZMCM, en un escenario como el primero sería necesario introducir controles muy severos sobre el precio de la gasolina y otros impuestos en bienes complementarios como los automóviles, estacionamientos y servicios en general enfocados al transporte privado. Existen otras alternativas más directas pero más difíciles de implementar para que la demanda potencial de *KRV* no se apodere de los nuevos espacios construidos para los vehículos como sería el cobro automático de tarifas en vías rápidas que puedan reflejar el costo marginal de un vehículo en los congestionamientos. Aunque este último tipo de intervenciones serían las más adecuadas desde la perspectiva del análisis económico, son muy difíciles de realizarse no solo por cuestiones técnicas sino porque políticamente no es atractivo para las autoridades cobrar por un bien que históricamente ha sido proporcionado gratuitamente.

Bajo el segundo escenario, no bastaría con dejar de construir vialidades para lograr un buen desarrollo integral del transporte metropolitano. En realidad lo que se requiere es orientar más la demanda de viajes hacia el transporte masivo por medio de incentivos como los mencionados arriba, pero también elevando la calidad de los servicios públicos de transporte. Esto podría llevarse a cabo con los fondos obtenidos por los impuestos sobre la gasolina, autos, estacionamientos y los sistemas de cuotas en vías rápidas.

Hemos visto que el tráfico inducido para la ZMCM será de alrededor de 31 millones de *KRV* diarios, sin embargo no podemos precisar que efecto de los seis que mencionamos en el capítulo 2 sería el más fuerte. Los cambios en los destinos serán importantes si a causa de las nuevas vialidades se desarrollan inmobiliaria y comercialmente zonas alejadas de la ciudad y los nuevos viajes si las reducciones en tiempos de traslado son considerables. Por

otro lado, el tráfico inducido por medio de cambios en modo de transporte y cambios en la ocupación promedio de los vehículos será más elevado en la medida que se incremente el ingreso personal que empuja la demanda potencial de viajes.

Los efectos del tráfico inducido en la movilidad no son las únicas repercusiones negativas que este fenómeno genera sobre la calidad de vida en la ZMCM. Como consecuencia del incremento en el consumo de gasolina asociado al crecimiento de la infraestructura vial, se verterían a la atmósfera 3.3 Mton más de CO₂, complicando el cumplimiento del compromiso que México adquirió para reducir las emisiones globales de GEI³⁶ en la firma del Protocolo de Kyoto en 1997, el cual fue ratificado en 2000. Recordemos que nuestro país ocupa el lugar número 14 en cuanto a emisiones totales de CO₂ y la ZMCM contribuye con el 13% de estas. La expulsión de 3.3 Mtons más de CO₂ a la atmósfera por consecuencia del tráfico inducido significan incrementar en 1.3% las actuales emisiones totales del país, en un momento donde se está luchando por abatir esas emisiones globalmente.

Suponiendo que los actuales ratios de contaminantes por litro de gasolina consumido permanezcan, el volumen de tráfico generado como consecuencia de las ampliaciones viales repercutirá en incrementos de las emisiones totales de contaminantes criterio del 30% en CO, 16% en NO_x y 11% en HC. Los incrementos en los niveles totales de emisiones de PM₁₀ y SO₂ (2% y 5% respectivamente) no serían tan alarmantes debido a que los

³⁶ Los cálculos se realizan en base a factores conversión de 1.91 kg de CO₂ por cada litro de gasolina de Walsh (1994)

vehículos a gasolina no contribuyen de manera significativa en las emisiones de estos dos contaminantes.

El incremento en las emisiones de CO puede ser mayor tanto a muy elevadas como a muy bajas velocidades. Lo primero ocurriría en el corto plazo cuando las vialidades permiten un flujo más rápido del tráfico existente. En el mediano plazo las emisiones por kilómetro bajarían al mantenerse velocidades medias y en el largo plazo las emisiones por kilómetro volverían a elevarse, aún más que en el corto plazo debido a menores velocidades como consecuencia de la saturación de la red vial.

Las emisiones de HC son muy sensibles a los encendidos en frío de los vehículos, por lo que incrementos en el número de viajes, más allá de los *KRV* repercutirían en los niveles de emisiones de este contaminante, uno de los dos principales precursores de Ozono. Los otros compuestos que reaccionan con los HC, la luz solar y el calor para formar el O₃ son los NO_x que de acuerdo a nuestras estimaciones de tráfico inducido elevaría sus emisiones en un 16%. Las emisiones por kilómetro de los HC y los NO_x responden de igual manera que el CO ante cambios en la velocidad promedio.

Las emisiones de estos contaminantes también dependerá de la edad de la flota vehicular, por lo que se esperaría que nuestros pronósticos de emisiones estuvieran un poco por arriba de los verdaderos. Por otra parte, el comportamiento del conductor y el tipo de vialidades tendrán también impactos sobre las emisiones en el futuro. Vialidades elevadas que impliquen aceleraciones en rampas de acceso con pendientes pronunciadas repercuten en mayores emisiones por kilómetro, mientras aceleraciones y frenados constantes de

conductores agresivos también tendrán el mismo efecto. Esto ocurre porque estas acciones significan una relación combustible-aire mayor que provoca una ineficiente operación del catalizador (TRB,1995,p.53). Las emisiones de CO y HC son las más afectadas, encontrándose que las emisiones resultantes de una conducción agresiva genera 15 veces más CO y 14 veces más HC que bajo experimentos en conducción estándar (TRB, 1995,p.54).

En lo que se refiere a las concentraciones de los contaminantes criterio, se requiere una gran cantidad de datos complementarios para estimarlas con precisión haciendo uso de modelos de dispersión atmosférica. Las condiciones meteorológicas influyen de manera muy importante en las concentraciones de los contaminantes, elevándose por ejemplo las concentraciones de CO en el invierno cuando las velocidades de los vientos son menores, mientras en los meses de más altas temperaturas, las concentraciones de O₃ tienden a ser mayores debido a la cantidad de luz solar y calor. La topografía de la ZMCM, que cuenta con una gran cantidad de construcciones altas y que además esta rodeada de montañas, repercute negativamente sobre la dispersión de los contaminantes criterio.

La temperatura también juega un papel importante, ya que por un lado las emisiones evaporativas, constituidas principalmente por HC, se incrementan a más de 24°C, a la vez que las emisiones de escape se incrementan por debajo de esa misma temperatura debido a que a bajas temperaturas toma más tiempo para que el motor y el sistema de control de emisiones se caliente (TRB,1995,p.61).

Finalmente, la eficiencia en el consumo de gasolina (kilómetros por litro) será un factor decisivo para que el incremento en las emisiones de contaminantes como consecuencia del tráfico inducido no sea tan alto como se ha pronosticado en esta sección. Estos rendimientos serán mayores a velocidades medias independientemente de las mejoras técnicas en los motores, por lo que habría que erradicar los congestionamientos pero también controlar las velocidades máximas permitidas.

Es evidente que habrá impactos sobre la salud y el medio ambiente como consecuencia del crecimiento de la infraestructura vial. En el cuadro 1.7 de la sección 1.5 tenemos un resumen de ellos y aunque todos alteran nuestro sistema inmunológico y la calidad de nuestro entorno ambiental, sabemos por diversos estudios que el más dañino es el O₃ producido por reacciones entre HC, NO_x y la luz solar.

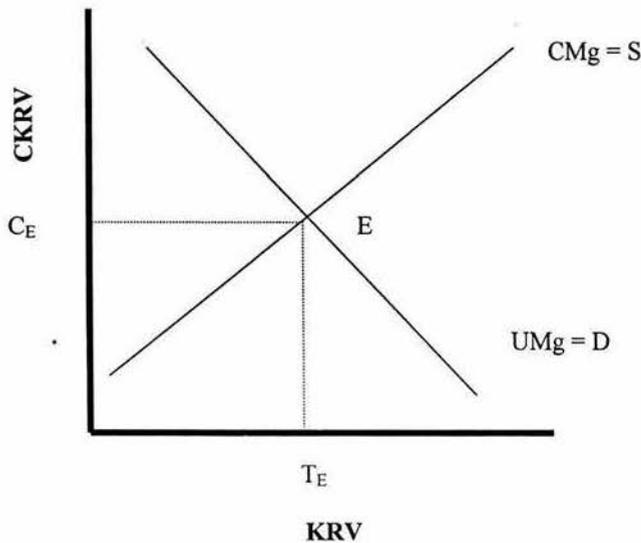
De las implicaciones vertidas en esta sección nos queda claro que las ampliaciones viales no resolverán los problemas de movilidad en la ZMCM los cuales solo serán exacerbados por el tráfico inducido, a la vez que se dificultará el combate para reducir las emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina. Los efectos negativos que en el largo plazo tiene el incremento de la red vial deben ser considerados en el análisis económico y evaluación de proyectos de este tipo. En la siguiente sección se explica como debe ser incorporado el fenómeno del tráfico inducido en diferentes etapas del análisis económico.

4.2 Implicaciones sobre el Análisis Económico

4.2.1 Eficiencia Económica

El resultado de que un mercado competitivo sea eficiente es que los bienes o servicios se producen en una combinación de cantidad y precio igual a la que los individuos están dispuestos a pagar. Esto está representado en el punto E de la gráfica 4.1 donde se iguala el costo marginal (CMg) de los viajes por congestamientos con la utilidad marginal (UMg) por satisfacción de demanda de viajes.

Gráfica 4.1.
Eficiencia del Mercado



El punto E es eficiente porque un nivel de tráfico mayor a T_E implicaría que el CMg es mayor que la UMg y se podría aumentar el beneficio total disminuyendo la cantidad total

de KRV. A un nivel inferior a T_E la UMg sería mayor al CMg por lo que se podrían acrecentar los beneficios totales con un mayor número KRV.

Desafortunadamente no se puede garantizar que el punto E represente la verdadera eficiencia de este mercado. Son cuatro las razones básicas por las que fallan los mercados competitivos: *poder de mercado, información asimétrica, bienes públicos y externalidades* (Pindyck y Rubinfeld, 1998). En lo que respecta al mercado de viajes nos enfocaremos al papel de las externalidades ambientales y por otra parte, discutiremos en seguida el tipo de bien que son las vialidades.

4.2.2 Vialidades: ¿Bien Público o Privado?

Las vialidades son comúnmente consideradas como bienes públicos, sin embargo esto no es totalmente cierto. Recordemos que un bien público es aquel que no presenta rivalidad ni exclusividad. Que no presente rivalidad significa que el costo marginal de proveer una unidad más de este bien es cero. Además debe tener la característica de *no rivalidad* en el consumo, esto es que el hecho de que sea consumido por una persona no excluya a otras.

Por otra parte un bien público debe ser *no excluyente*, lo que quiere decir que una vez provisto a una persona es imposible excluir a las demás. El ejemplo clásico de un bien público es la defensa nacional de la cual no es posible excluir a ningún ciudadano y además no representa costos adicionales entre proteger a 1 millón de personas o 10 millones. Es difícil proveer bienes públicos con eficiencia, pues se requiere conocer el beneficio social

marginal que es la suma *vertical* de las demandas individuales³⁷. Calcular la valoración de cada uno de los individuos con el fin de conocer la función de beneficio social marginal sería una tarea sumamente costosa, por lo que normalmente los bienes públicos se ofrecen por debajo o por arriba del nivel de eficiencia económica.

Las vialidades podría considerarse que son bienes *no rivales* cuando no están congestionadas pues que circule un vehículo más no implica costos para los demás ni una disminución en la calidad del servicio. Sin embargo, aún en ese caso sería posible excluir de su consumo a otros mediante cuotas para ingresar a la vía, por lo que no caería en la categoría de bienes públicos. De cualquier manera, en la ZMCM el caso de las vialidades no congestionadas solamente aparece en horarios de muy baja actividad. Diríamos entonces que las vialidades en la ZMCM presentan rivalidad ya que la utilización de este bien por una persona más (normalmente varias más) disminuye su calidad e incrementa los costos asociados a su utilización. Como además de ello las vialidades pueden ser excluyentes, concluiríamos que la infraestructura vial no es un *bien público* desde el punto de vista económico, por lo cual sería más eficiente su asignación si se cobrará por su uso. De hacerlo así, se estaría eliminando el primero de los impedimentos para que el mercado de viajes metropolitanos en auto fuera realmente eficiente.

4.2.3 Externalidades

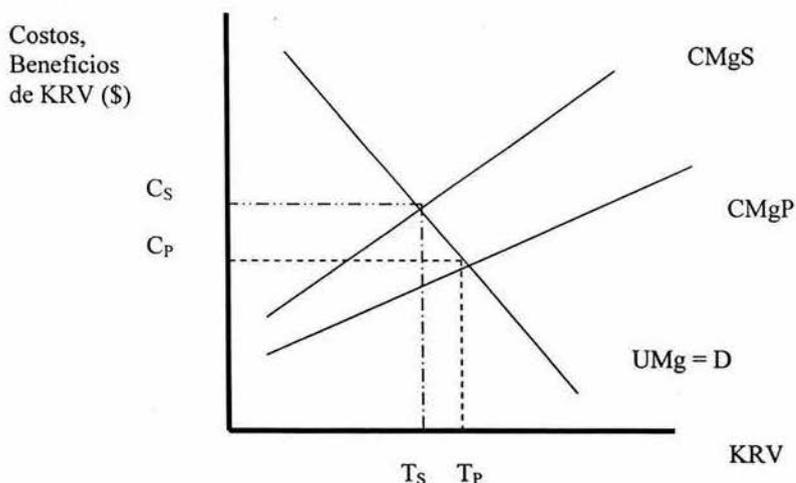
Las *externalidades* son efectos positivos o negativos derivados de la actividad económica que no se reflejan directamente en el mercado, es decir en los precios. Las externalidades

³⁷ Las demandas de mercado se obtienen sumando horizontalmente las demandas individuales, sin embargo en el caso de los bienes públicos es necesario hacerlo verticalmente porque nos interesa la valoración y no el beneficio obtenido.

son negativas cuando la acción de una parte impone costos sobre otra y son positivas cuando una acción beneficia a un tercero. Un ejemplo de externalidad positiva es la tierra boscosa que un ejidatario mantiene sin explotar lo cual trae beneficios para el ecosistema global ya que los árboles capturan CO_2 .

En el caso del mercado de viajes en auto hay externalidades negativas en la provisión de este servicio pues los costos privados (costos de gasolina, automóvil y tiempo principalmente) no representan el total de los costos vinculados al uso de vehículos para satisfacer la demanda de viajes. El daño causado sobre el medio ambiente, la salud y la seguridad vial por el uso de vehículos no es considerado por lo que la curva de CMg en realidad debería ubicarse más hacia la izquierda. En la siguiente gráfica se incluyen tanto la curva de costos privada y la social.

Gráfica 4.2
Externalidades en el Mercado de Viajes en Auto



La curva de costo marginal social (CMgS) que incluye todos los costos asociados al uso del vehículo, se ubica más hacia la izquierda y arriba que la de costo marginal privado debido a que a cada cantidad de KRV el costo es mayor en la primera. La suma de costos ambientales, salud y seguridad serían la diferencia entre CMgS y CMgP, y por las características acumulativas de algunos contaminantes las curvas no serían paralelas.

La eficiencia de este mercado sin considerar las externalidades se encontraría en la intersección de CMgP con UMg, que sería el punto E de la gráfica 4.1. Para llegar a un verdadero nivel de eficiencia, donde se interseccionen CMgS con UMg con costos C_S y cantidad de viajes T_S , es necesario poner en práctica un *impuesto pigouviano* o llegar allí por medio de una *negociación coasiana*. La última opción, en la cual no se requiere la intervención del Estado, no sería posible en este mercado pues se requiere que no existan costos de transacción y que los derechos de propiedad estén bien definidos.

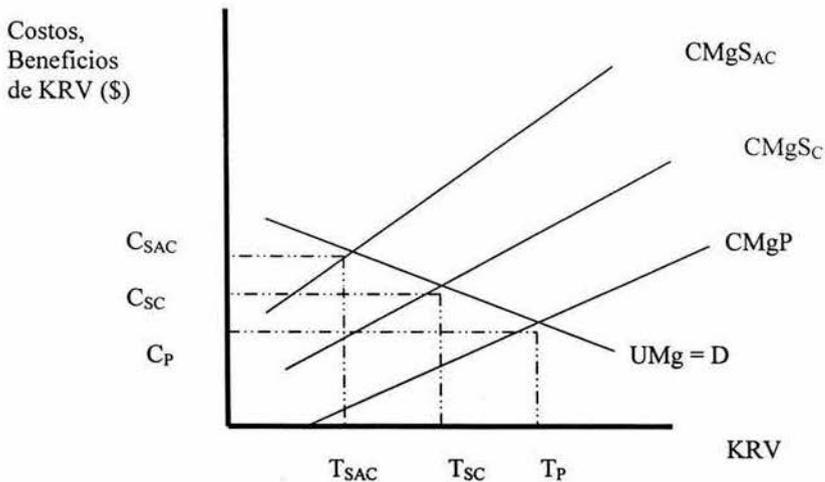
Por su parte, la introducción de un impuesto pigouviano que sea igual al valor de la externalidad sería lo más adecuado en este caso. Este tipo de impuestos no tienen como finalidad principal recaudar fondos sino ayudar al mercado a alcanzar un verdadero nivel de eficiencia. De tal forma, el impuesto se calcularía de acuerdo a la estimación de los costos ambientales, de salud y seguridad que se derivan de cada nivel de KRV siendo en todo momento igual a la diferencia entre CMgS y CMgP.

En un análisis del bienestar hay pérdidas sociales al realizar viajes en T_P en la gráfica 4.2, ya que debemos recordar que el excedente del consumidor es el área debajo de la curva de demanda y por arriba del precio de mercado, mientras el excedente del productor es el área

por debajo del precio y arriba de la curva de CMg. Al encontrarnos en T_P considerando a CMgS, tendríamos un menor bienestar total ya que se incrementan los costos y el excedente del consumidor disminuye.

Un caso particular de externalidad es la de un *bien de propiedad común* que no es lo mismo que un bien público definido anteriormente. Los bienes de propiedad común son aquellos que pueden utilizarse gratuitamente y son de libre acceso. Un ejemplo obvio sería la tierra comunal pero las vialidades de la ZMCM formarían también parte de los bienes de propiedad común ya que son de libre acceso y no se paga por utilizarlas. La gráfica 4.3 nos ayuda a explicar como se generan las externalidades en este tipo de bienes. En esta gráfica no se incluye el mercado de viajes sino las funciones de demanda y costos individuales de cada uno de los usuarios de las vialidades.

Gráfica 4.3.
Vialidades como bien de propiedad común

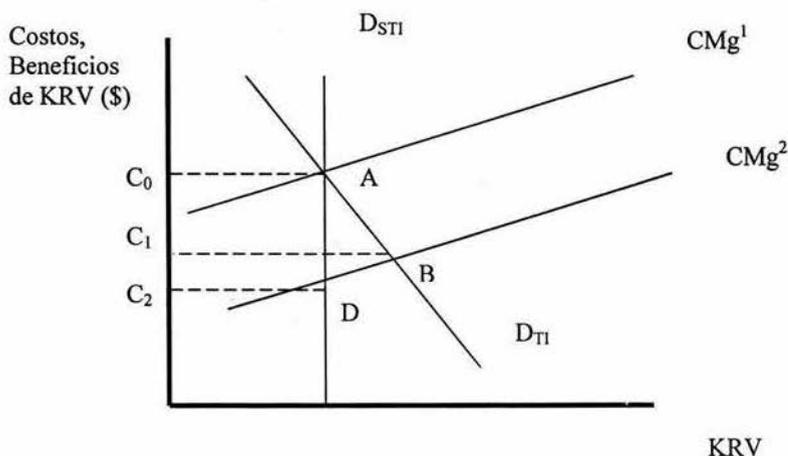


Para un consumidor individual, la curva de costos privada es la $CMgP$, sin embargo realmente esta imponiendo costos sociales incluidos en $CMgSc$ por su aportación a los congestionamientos. Más allá de eso, se generan daños ambientales por lo que la curva que incluye tanto las externalidades ambientales como las de congestionamiento de las vías es la de $CMgSAC$. Si este individuo representativo considerara o se le cobraran de alguna manera todos los costos en que se incurre al viajar en auto, su cantidad de viajes realizados sería T_{SAC} y no T_P .

4.2.4 Análisis de Bienestar con Tráfico Inducido

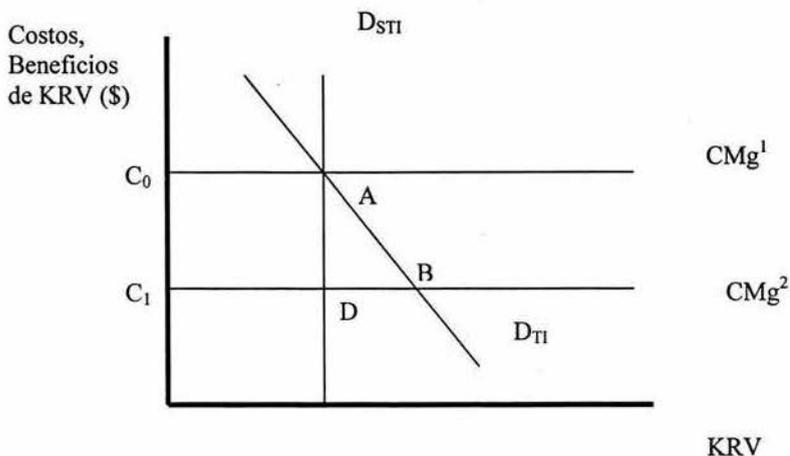
Al ser la curva de demanda igual a la función de utilidad marginal y la de oferta la de costo marginal, es posible visualizar la utilidad y los costos totales que serían las áreas debajo de cada una de las curvas. Comencemos esta sección con la gráfica 4.4 donde se representa una ampliación vial y sus repercusiones sobre el bienestar considerando tanto el caso de la inexistencia como el de la existencia del tráfico inducido. La demanda inelástica (D_{STI}) es la relacionada a la inexistencia del tráfico inducido ya que las disminuciones en los tiempos de traslado como parte de los costos totales no repercute de ninguna manera en la cantidad de viajes demandada. Si tomamos en cuenta la evidencia empírica de los estudios del capítulo dos y la obtenida en el capítulo anterior, es decir que el fenómeno del tráfico inducido existe, tendríamos que utilizar una curva de demanda elástica como D_{TI} donde los tiempos de traslado si inciden sobre la cantidad demandada de viajes. Las curvas de CMg utilizadas en esta sección incluyen ya los costos ambientales, de salud y seguridad pues las repercusiones de los daños al medio ambiente sobre el bienestar que se comentaron en la sección anterior serían iguales para cada uno de los casos.

Gráfica 4.4.
Análisis de Bienestar con y sin Tráfico Inducido



La ampliación vial está representada en la gráfica 4.4 por el desplazamiento de la curva de CMg de S^1 a S^2 ya que a cada cantidad de viajes en auto los costos son menores en la segunda curva. Los cambios en el excedente del consumidor tras la ampliación vial son distintos si consideramos que hay o no tráfico inducido. Cuando no se toma en cuenta este fenómeno trataríamos con la curva D_{STI} y los beneficios generados serían igual al área del rectángulo C_0ADC_2 . En un análisis donde si se consideren los efectos de las ampliaciones viales sobre el tráfico, tendríamos que tomar la curva de demanda D_{TI} y los beneficios de la obra vial serían iguales al área de la figura conformada por los puntos C_0ABC_2 . Si los beneficios son mayores o menores al considerarse o no el tráfico inducido depende de las pendientes de las curvas, para ello analizamos los casos de curvas de CMg elásticas en la gráfica 4.5 e inelásticas en 4.6.

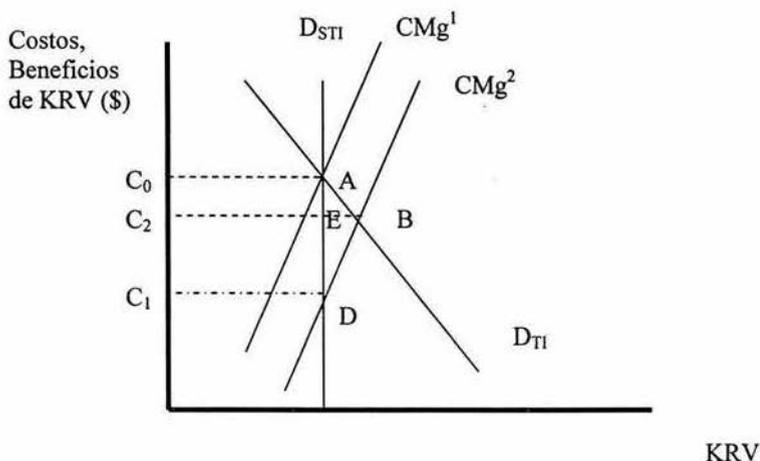
Gráfica 4.5.
Análisis de Bienestar con CMg elástica



Las curvas CMg perfectamente elásticas son representativas de vialidades que no muestran congestión por lo que aumentos en el número de viajes no incrementan los costos marginales³⁸. Este podría ser el caso de un análisis de corto plazo donde en realidad los beneficios son altos al disminuir los tiempos de traslado sin congestionar las vialidades. Tomando en cuenta el tráfico inducido los beneficios serían mayores pues habría que sumar el triángulo ABD a los beneficios generados por la obra sin tráfico inducido que son el rectángulo C_0ADC_1 .

³⁸ Las verdaderas curvas de CMg deberían contar con una ligera pendiente positiva debido a los costos ambientales acumulativos, sin embargo se dibujan de esta forma para simplificar la explicación.

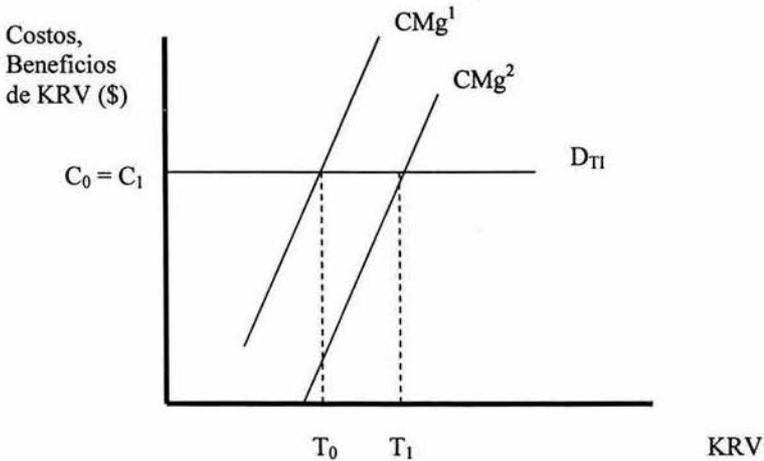
Gráfica 4.6.
Análisis de Bienestar con CMg inelástica



Cuando nos encontramos en un punto donde las vialidades se encuentran congestionadas las curvas de CMg son más inelásticas, esto es que cada viaje nuevo en vehículo incrementa de manera sustancial los costos vinculados al tiempo de traslado. Siendo este el caso, los beneficios calculados en ausencia de tráfico inducido serían mucho mayores a los que se tendrían considerando que se presenta este fenómeno; de la gráfica 4.6 es claro que el rectángulo C_0ADC_1 es mayor al triángulo ABE.

El caso más crítico y bajo el cual cualquier proyecto vial debería ser rechazado es el de una curva CMg inelástica y una demanda perfectamente elástica, la cual es representativa de una gran cantidad de demanda potencial o tráfico suprimido.

Gráfica 4.7.
Análisis de Bienestar con demanda perfectamente elástica



Los beneficios generados a causa de la obra vial en este último caso, presentado en la gráfica 4.7, son nulos y aunque el número de viajes se incremento, el resultado final es que los costos totales aumentan. Lo que ocurre es que la vialidad se satura muy pronto de tráfico anteriormente suprimido por lo que se mantiene el mismo costo con mayores niveles de tráfico generando como consecuencia más costos que beneficios. Para finalizar este apartado se resumen las repercusiones de las distintas elasticidades de las curvas de demanda y CMg vistas en las gráficas anteriores de la siguiente forma:

| | Demanda Elástica | Demanda Inelástica |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| CMg Elástica | Beneficios Muy Altos | Beneficios Altos |
| CMg Inelástica | Beneficios Muy Bajos | Beneficios Bajos |

4.2.5 Costo Beneficio y Costo Eficiencia

El Análisis Costo-Beneficio (ACB) es probablemente la herramienta más utilizada en la evaluación de proyectos públicos ya que en su más rigurosa aplicación hace una comparación monetaria de todos los beneficios que se pueden obtener y de todos los costos en que se puede incurrir. Este análisis tiene, sin embargo, algunas limitantes cuando algunos de los beneficios o de los costos no tienen una valuación en el mercado. Para nuestro caso podríamos hablar de los beneficios en tiempos de traslado que disminuirían con el tiempo y los costos ambientales que se incrementarían al paso de los años. Aunque estos dos componentes importantes de lo que sería un completo ACB de una obra vial no eran incluidos hace algún tiempo (ver Harberger, 1974), a la luz de la vasta evidencia empírica del fenómeno tendrían que ser calculados para tener un indicador confiable del proyecto en cuestión.

Distintas técnicas de valuación surgidas de la teoría de la economía ambiental podrían utilizarse para determinar los costos asociados al deterioro ambiental de una obra vial. No solo en lo referente a la tala de árboles o cambio de uso de suelo para construir las vías sino sobre todo los daños ambientales y en salud causados por el incremento en las emisiones contaminantes derivadas del tráfico inducido. Entre las técnicas de valuación más recurridas se encuentran la *Valuación Contingente* donde se hacen encuestas bajo escenarios hipotéticos y se obtienen *Disposiciones a Pagar* y *Disposiciones a Aceptar Compensación* por la mejora o deterioro respectivamente de un bien y que representan las valuaciones monetarias. El método de *Costo de Viaje* es utilizado sobre todo en parques nacionales o reservas naturales para los cuales se calcula su valor comparando los gastos en

traslado a ese destino con los gastos de traslado a otro similar pero donde existen parques o reservas. El tercero de los métodos más utilizados es el de los *Precios Hedónicos* cuya aplicación se ha realizado principalmente en precios de inmuebles tomando a bienes ambientales y calidad del aire como variables explicativas de la formación del precio.

Un problema de los ACB es que dada su naturaleza financiera utilizan tasas de descuento para actualizar los beneficios y costos del futuro a valores presentes. En el caso de daños ambientales esto es como considerar que las generaciones futuras no tienen la misma importancia. Un ACB de un proyecto vial para la ZMCM podría ser aprobado más fácilmente si se incluye una tasa de descuento ya que hace más valiosos los beneficios inmediatos de la obra y menos costosos los daños ambientales del futuro. En el contexto del tráfico inducido sabemos que los beneficios son mayores al inicio y que disminuyen con los años por la nueva saturación de vialidades, a la vez que los daños al medio ambiente no son tan graves en los primeros años pero hacia el futuro estos crecen debido a la generación de nuevas emisiones producto del tráfico inducido. En las siguientes ecuaciones puede apreciarse este problema.

$$(4.1) \quad VP(B) = B_0 + B_1/(1+r) + B_2/(1+r)^2 + B_3/(1+r)^3 + B_4/(1+r)^4 \\ + B_5/(1+r)^5 + B_n/(1+r)^n$$

$$(4.2) \quad VP(C) = C_0 + C_1/(1+r) + C_2/(1+r)^2 + C_3/(1+r)^3 + C_4/(1+r)^4 \\ + C_5/(1+r)^5 + C_n/(1+r)^n$$

$$(4.3) \quad VPN = VP(B) - VP(C)$$

donde VP es *Valor Presente*, B son beneficios, C son costos, VPN es *Valor Presente Neto*, r es la tasa de descuento y los subíndices son el periodo del que se trata comenzando en el año cero.

Utilizando la tasa de descuento, que normalmente es positiva, vemos en (4.1) que los beneficios de los primeros años los cuales son los más importantes en presencia de tráfico inducido, son descontados muy ligeramente mientras los últimos que en realidad eran muy pocos son los que más sufren el descuento para traerlos a valor presente. Por otro lado, los costos más importantes que son los de los últimos años son subestimados ya que se les aplica un descuento mayor para calcular el valor presente. La conclusión es que utilizar valor presente para el ACB de un proyecto vial cuando hay tráfico inducido no es recomendable pues sobrevalúa los beneficios y subvalúa los costos provocando que sea más probable que el resultado de un ACB sea elevado y positivo.

Una de las críticas más fuertes hacia el uso de ACB cuando se incluyen beneficios o costos ambientales es que se reducen a representaciones monetarios los valores de los bienes y servicios ambientales y que dichas valuaciones están basadas la mayoría de las veces desde un punto de vista antropocéntrico, es decir que el hombre da valor a bienes y servicios que son parte de un ecosistema al que también pertenecemos. Aún así, al final de cuentas podría resultar mejor utilizar estas valoraciones que no incluir ningún valor por los bienes y servicios ambientales.

Una manera de reducir el trabajo requerido y las dificultades vinculadas a la realización de un ACB es aplicar un Análisis Costo-Efectivo (ACE). En este tipo de análisis se traza un

objetivo fijo que se busca alcanzar de la manera menos costosa o dado un presupuesto alcanzar el máximo beneficio. En ambos casos solo sería necesario calcular una porción de lo que sería un ACB.

Si la capacidad asimilativa del ecosistema en la ZMCM es sobrepasada por la contaminación vertida bajo los escenarios que hemos realizado, un ACB no debe aplicarse. Sin embargo, nos dice Pearce (1975), en cuanto no se exceda esta capacidad y no existan efectos biológicos aplicar el ACB podría ser la mejor alternativa. Cuando los contaminantes se acumulan, el ACB debe ser reemplazado por la adopción de niveles máximos permitidos de contaminantes (Pearce, 1975).

5. Alternativas hacia un Sistema de Transporte Urbano Sustentable en la ZMCM

De acuerdo a la OCDE (1999), la mayoría de los sistemas de transporte actuales no son sustentables debido a que: 1) acaban con un recurso natural no renovable, 2) las emisiones contaminantes atribuibles a los vehículos superan la capacidad del sistema de absorberlas sin daño al medio ambiente, y 3) por los daños a la salud y a los ecosistemas que las emisiones provocan. De acuerdo a esto, se llega, en este mismo reporte, a una definición de Transporte Ambientalmente Sustentable (TAS) que es *“aquel transporte que no atenta contra la salud pública o los ecosistemas y que cubre las necesidades de acceso con: a) uso de recursos renovables menor a su tasa de regeneración y b) uso de recursos no renovables a tasas menores a las de desarrollo de los substitutos renovables”* (OECD, 1999, p.12)

Sin embargo, más allá de la insustentabilidad desde el punto de vista ambiental, el creciente uso de medios privados para transportarse es preocupante por los congestionamientos que genera y por la reducida seguridad vial. Los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte de la población joven ya que los peatones y ciclistas están involucrados en más de la mitad de las muertes en accidentes de este tipo, de las cuales el 35% corresponden a menores de edad. (Flora, 1998, p. 7).

Estas cifras apoyan la postura de que la provisión de servicios de transporte no es equitativa, pues gran parte de la población en los países en vías de desarrollo como el nuestro no tiene acceso a la movilización por medio de vehículo particular sin embargo

sufre las consecuencias de la excesiva utilización de este medio por parte de una minoría que impone costos ambientales, de seguridad vial, de presupuesto público de espacio urbano y de salud que no se han incluido en el precio que pagan los usuarios del transporte privado por su uso. Estos costos deberían ser internalizados en el precio que se paga por uso de vialidades, consumo de gasolina y ocupación de espacio urbano entre otros, para acabar con el irracional subsidio oculto que se le da al uso del auto particular³⁹.

Trasladándonos a un plano geopolítico internacional, el uso de medios de transporte intensivos en el uso de combustibles derivados del petróleo incrementa la presión sobre la crisis política de Medio Oriente (Sperling y Clausen, 2003, p.5).

Nos encontramos entonces ante una paradoja en la que se subsidia el uso de un medio altamente contaminante y costoso para la sociedad, es decir que tiene una gran cantidad de externalidades negativas, a la vez que en México constantemente se critica el subsidio a medios de transporte más eficientes, con tecnologías más amigables con el medio ambiente y que además ayudan a reducir los congestionamientos. Dicho de otra manera, estos medios de transporte masivo generan una serie de externalidades positivas comparados con medios de transporte privado y de baja ocupación⁴⁰.

³⁹ Los usuarios de auto particular pagan aproximadamente solo un 60% de los costos sociales asociados a su uso (Replogle, 1995, p.363). Delucchi (1997) encuentra un porcentaje muy similar para Estados Unidos con base en datos de 1990-1991.

⁴⁰ No es nada extraño subsidiar el transporte público: por ejemplo, en Francia solo se recupera una tercera parte de los costos por medio de los ingresos en taquillas (ECMT, 2001a, p.15)

Diversos mecanismos que pueden implementarse para lograr un Sistema de Transporte Urbano Sustentable (STUS)⁴¹ en la ZMCM y los obstáculos a los que se podrían enfrentar es lo que veremos a continuación seguido por una breve reseña de las ciudades que han conseguido algunos éxitos hacia la sustentabilidad de su sistema de transporte urbano.

5.1 Mecanismos hacia un STUS en la ZMCM

Para modificar las características de los sistemas urbanos de transporte actuales los paquetes de política deben contener una mezcla de mecanismos de 1) regulación, 2) precios y 3) tecnológicos para mandar las señales correctas a los mercados de uso de suelo urbano y de transporte. La exitosa implementación de estos paquetes de política está dirigida a integrar la planeación del uso de suelo y del sistema de transporte, administrar los viajes en auto particular, optimizar el uso del transporte público y promover los viajes en bicicleta y a pie en áreas urbanas (ECMT, 2001a; p.3). De acuerdo a Short (2003), guardar nuestras esperanzas solamente en los avances tecnológicos no es una solución real para los graves problemas de movilidad y medio ambiente de las grandes ciudades.

Algunas de las medidas que se han ideado con la finalidad de lograr un STUS ya están operando en la actualidad en algunas ciudades del mundo, mientras algunas otras se encuentran en un periodo de perfeccionamiento para su posterior puesta en práctica. Vemos algunas de los mecanismos que podrían implementarse en la ZMCM clasificados de acuerdo a las tres categorías arriba mencionadas.

⁴¹ Este concepto se usa de aquí en adelante para diferenciarlo del TAS ya que en el STUS consideramos además la seguridad y la equidad.

5.1.1 Mecanismos de Regulación

- *Celdas de Tráfico.* Se trata de impedir el paso de vehículos a determinadas zonas que presentan graves conflictos viales en la ciudad. Las celdas son propicias especialmente para encerrar zonas históricamente centrales.
- *Cordones Urbanos.* De esta manera se regulan los asentamientos urbanos que no podrán realizarse más allá de ciertos límites.
- *Permisos Transferibles.* Basados en estándares de salud pública y límites del ecosistema de la ZMCM se puede poner un tope de emisiones provenientes de automotores que al final se traducen en límites en KRV. Se subastarían permisos para recorrer cierta cantidad de kilómetros. Este mecanismo lograría que se realizaran los viajes de mayor valor pero también podría resultar injusta si el método de asignación de permisos no es adecuado. También es posible subastar los permisos pero para poseer automóviles.
- *Preferencia en carriles.* Los autos con más de un ocupante tendrían la exclusividad en ciertos horarios para circular por los carriles de alta velocidad. Esta alternativa se vería altamente beneficiada de los sistemas inteligentes para poder multar automáticamente a quien no respete esa medida.
- *Reductores de Tráfico.* Esta medida consiste en instalar más semáforos, cruces para peatones y ciclistas así como curvar y estrechar las vialidades, intentando desincentivar el uso del vehículo al resultar molesto.

5.1.2 Mecanismos de Precios

- *Cobro en vialidades.* En las vialidades congestionadas funcionaría como un mecanismo para cobrar las externalidades que se imponen a los demás autos por

disminuir los tiempos de traslado. Se deberá cobrar especialmente a autos que no lleven más de un ocupante. Esta medida también está sujeta a un buen sistema inteligente de vigilancia y cobro automático.

- *Impuestos*. Incrementar impuestos para autos de bajo rendimiento de combustible y dar incentivos fiscales a LEV (autos de baja emisión por sus siglas en inglés). Impuesto a gasolinas. Incrementar impuestos a quienes quieran establecerse en la periferia de la zona central.
- *Tarifas de estacionamiento*. Incrementar las tarifas en zonas conflictivas y otorgar bonos de estacionamiento en centros comerciales para quien no utilice el estacionamiento⁴².

5.1.3 Mecanismos Tecnológicos, Sistemas Innovadores e Infraestructura

- *Autobuses en carriles exclusivos*. Los autobuses en carriles confinados pueden ser tan eficientes como el Metro pero mucho más baratos⁴³. Estos autobuses deben contar con mecanismos de cobro anticipado y puertas enormes para agilizar la subida y bajada de pasajeros, además de contar preferentemente con un área destinada a personas con bicicleta.
- *Autos de Fin de Semana*. En Singapur se puso en marcha este esquema en 1991 en el que los autos con calcomanía roja obtienen descuentos fiscales importantes. Estos autos solo pueden ser conducidos entre las 7 de la noche y las 7 de la mañana entre

⁴² El uso del estacionamiento no es totalmente gratis en los centros comerciales, el costo de este servicio se incluye en el precio de los bienes que se venden allí.

⁴³ Una milla de un transporte como el Metro cuesta alrededor de \$100 Millones de Dólares, mientras para implementar un milla para autobús en carril confinado solo es necesario un 10% de esa cantidad (Sperling y Clausen, 2003, p.8)

semana, a partir de las tres de la tarde los sábados y domingos todo el día (Walsh, 1994, p.7).

- *Call a Car*. La idea del *call a car* que nació en Alemania y Suiza, es básicamente un mecanismo mediante el cual los usuarios de vehículos pertenecen a una asociación donde pueden utilizar el auto cada vez que lo deseen sin tener que adquirirlo. Esto disminuye los costos para aquellas personas que recorren menos de 10 mil kilómetros anuales en el auto (Schol, *et al*, 1994, p.107) y reduce la presión por espacios de estacionamiento pues cada auto se supone siempre está utilizándose.
- *Ciclopistas y Seguridad*. Extender la infraestructura de ciclopistas e incrementar la seguridad en ellas para poder llegar prácticamente a cualquier punto de la ZMCM en bicicleta de manera segura así como permitir su entrada a medios de transporte masivo será un incentivo para la expansión de su uso.
- *Horario Escolar y de Trabajo Modificado*. Para la ZMCM se ha propuesto una reducción de la semana laboral a cambio de una ampliación del horario diario (Quintanilla y Bauer, 1994, p.101-104), distribuyendo las horas de trabajo del día eliminado entre los días que restan. Los días de descanso para los empleados tendrían que ser distintos. Extendiendo esta medida al sector escolar, recordando del capítulo uno que los viajes al trabajo y la escuela representan casi el 80% del total si se considera el regreso al hogar, evitar un día de traslado se traduciría en una reducción de viajes del 20%. Sin embargo, esta medida elevaría la jornada laboral hasta 10 horas diarias, lo cual pudiera ser perjudicial para la salud y el rendimiento. Un análisis completo de los costos y beneficios, así como una encuesta representativa entre la población nos darían la pauta para decidir por la aplicación de esta medida o descartarla.

- *Investigación y Desarrollo para LEV y eléctricos.* Esta medida posiblemente no sería eficiente implementarla en México pues nuestros costos serían muy altos para generar un conocimiento que puede ser adquirido a menor precio y en menor tiempo de otros países.
- *Sistema Inteligente de Transporte (SIT).* Con estos sistemas los semáforos pueden ser sensibles a la aproximación de los autobuses de carriles exclusivos para darles preferencia en las intersecciones y que se puedan establecer itinerarios precisos para conexiones y reducción de tiempos de espera. También facilitarán la puesta en marcha de mecanismos como los carriles exclusivos para automóviles con mayor número de ocupantes y los cobros en vialidades.

5.2 Obstáculos para lograr un STUS en la ZMCM

Uno de los principales problemas para la implementación de mecanismos que lleven a un STUS es la falta de coordinación entre los distintos actores involucrados en la transformación del sistema de transporte urbano en la ZMCM. Un cambio en las tendencias de motorización y de modos de transporte inevitablemente representará pérdidas para algunos sectores. Será necesario idear mecanismos para compensar parcialmente las pérdidas de estos actores que de otra manera tratarán de sabotear un proyecto de este tipo. Los principales afectados serían todos aquellos relacionados con la industria automotriz y sus partes, así como los consumibles representados principalmente por las gasolineras. Por otro lado y representando una oposición muy fuerte estarían las agrupaciones de transportistas colectivos privados quienes actualmente concentran la mayor parte del mercado de viajes en la ZMCM. Habrá gente que también oponga resistencia al verse afectada negativamente por los altos impuestos o las medidas reductoras de tráfico.

Gubernamentalmente se requiere una integración de políticas tanto vertical como horizontalmente, esto es que desde el gobierno federal hasta las delegaciones y municipios exista una coordinación de esfuerzos que no se contradigan y se retroalimenten, hecho que debe presentarse también en la relación entre las secretarías de transporte, medio ambiente, salud, economía, suelo urbano, finanzas y hacienda a nivel federal, estatal y local.

Para que la participación ciudadana juegue un papel importante no solamente debe ser promovida sino que se debe informar a los habitantes de los costos en que se incurre e incurrirá al mantener el sistema de transporte actual. Al mismo tiempo se les debe orientar hacia el uso de la bicicleta y caminar convenciéndolos de los beneficios aparejados a estas actividades.

Un plan nacional que contemple el STUS es básico para lograr ese objetivo, pero también es esencial cierto nivel de descentralización. El gobierno federal debe ser iniciador, apoyo, patrocinador y fuerza rectora pero dar flexibilidad porque a nivel local es donde los problemas son mejor conocidos (ECMT, 2001b, p.5). La falta de integración entre los sectores gubernamentales puede provocar señales contrarias y el marco legal puede ser un obstáculo para la implementación de algunas medidas como los cobros en vialidades, las celdas de tráfico y sobre todo los horarios de trabajo.

Un problema fundamental para la aplicación de varios de los mecanismos mencionados anteriormente es la resistencia social al no conocer los verdaderos costos que un sistema de

transporte contaminante le esta imponiendo⁴⁴. Esto deriva en falta de voluntad política para llevar a cabo los cambios pues medidas como cobro en vialidades, los permisos transferibles, los reductores de velocidad y las alzas en impuestos seguramente no serán bienvenidas por el electorado.

El financiamiento de los proyectos y la infraestructura requerida tendrá que contar con el apoyo de fuentes privadas y probablemente externas. Algunos países podrían invertir en un STUS para la ZMCM intentando comprar derechos de emisiones de GEI para su país. Ya puesto en marcha todo un programa integral de políticas, las mejoras y mantenimientos serán posibles gracias a los recursos provenientes de los cobros en vialidades, impuestos a autos, estacionamientos y gasolina.

5.3 Experiencias Exitosas

En el Reino Unido las pruebas sobre la existencia del tráfico inducido han llevado al gobierno a nunca más tratar de acomodar el crecimiento en el tráfico mediante estrategias de *predecir y proveer*. Con nuevas metodologías para realizar los análisis costo-beneficio donde se incluyen los efectos del tráfico inducido, ha sido posible desechar y postergar 37 proyectos viales de 68, revelando que factores ambientales fueron fundamentales para llegar a esa decisión (Noland y Lem, 2000, p.18-19).

En otras ciudades europeas como Copenhague la infraestructura vial dejó de sufrir incrementos desde principios de los 70 y una gran cantidad de carriles con prioridad para

⁴⁴ En el estudio del ECMT(2001a) se encontró que en la mayoría de los países el principal problema que la gente asocia al uso excesivo del automóvil son los congestionamientos mientras la contaminación pasa a un segundo plano. Es realmente necesario que la gente esté enterada de todos los costos que los usuarios de transporte privado imponen a la sociedad para implementar las medidas más eficaces.

autobuses fueron implementados, además de la creación de una extensa red de caminos exclusivos para bicicletas (Repløge, 1995, p.368). Además de ello en Dinamarca, los autos pagan un impuesto cercano al 200% de su valor más otros altos impuestos anuales y en combustibles (Repløge, 1994, p.20).

Ciudades alemanas han adoptado medidas reductoras de tráfico que han sido bien aceptadas a pesar de la resistencia inicial, lo que condujo a experimentos similares en Seattle, Washington y Palo Alto, California. Por otra parte, las celdas de tráfico han resultado muy buenos mecanismos en ciudades europeas como Goteborg, Hannover y Houten, en Suecia, Alemania y Holanda respectivamente, así como en Osaka, Japón; Portland, Oregon; Boston, Massachusetts y Davis, California. Las celdas de tráfico promueven el caminar, el uso de la bicicleta y el transporte público como medios de traslado, incrementando el espacio urbano a la vez que disminuyen el ruido y los requerimientos de estacionamiento. En Davis, California, existen 46 kilómetros en ciclistas lo que permite que el 25% de los viajes en la ciudad se realicen por este medio (Repløge, 1995, p. 372).

Ciudades francesas y suizas han logrado disminuir la suburbanización mediante reducciones en niveles de ruido y mejoras al servicio público de transporte en las zonas centrales de las ciudades. Zurich ha logrado abatir los congestionamientos en el centro de la ciudad gracias a la aplicación de medidas reductoras de tráfico, administración de semáforos y reducción en cajones de estacionamiento, que fueron acompañadas por carriles exclusivos y preferencia en intersecciones para el transporte público. En todo Suiza la mayor parte de la red de transporte cuenta con conexiones sin espera al utilizar distintas

modalidades de transporte público, sistema que lleva varios años funcionando en Japón (ECMT, 2001a).

Las fuertes restricciones por medio de los espacios de estacionamiento es uno de los mecanismos más utilizados en Europa y en Tokio la gente que desee adquirir un auto debe demostrar previamente que cuenta con un lugar para estacionar su auto. La circulación en auto por el centro de Londres y por algunos puentes y túneles de Estados Unidos ya es cobrada, sin embargo la aplicación de cobros en vialidades aún no logra expandirse a pesar de que técnicamente ya pudieran estarse aplicando, debido principalmente a las demoras en la adecuación del marco legal (ECMT, 2001a).

Singapur, un país asiático muy pequeño que en la década de los 50 tenía altos índices de motorización para su nivel económico, diseñó todo un paquete de medidas para contrarrestar esa situación. La adquisición de vehículos y su uso se desincentivó al imponer altas cuotas de registro que operaron hasta 1990, año en que se cambiaron por un sistema de subastas. Ambos mecanismos han dado lugar a cuotas de hasta 150% del valor comercial de los autos. Aunado a esto la red de transporte público se expandió en coordinación con los planes de desarrollo del uso de suelo, permitiendo que el 40% de los negocios se encuentren cerca de una estación de transporte público, las cuales además están a distancia peatonal del 30% de los habitantes (Sperling y Clausen, 2003). Por otra parte el cobro en vialidades se realizó hasta 1998 por medio de licencias más caras para quienes pretendieran entrar a ciertas zonas de la ciudad, posteriormente un sistema de cobro electrónico se implementó y opera actualmente. Singapur goza actualmente de altos índices

de calidad de vida con un consumo de energía muy bajo para el transporte y bajas emisiones de GEI para un país con un ingreso per cápita de 20 mil dólares americanos.

En Shanghai, China, se han imitado muchas de las medidas tomadas por Singapur, sin embargo el reto es mayor al contar con una población cuatro veces más grande. Las políticas de transporte y de uso de suelo están bien integradas y el gobierno municipal ostenta el poder de decidir en ambos aspectos. Se han hecho grandes inversiones en ciclistas, caminos peatonales y trenes urbanos de alta velocidad. También se han incrementado los impuestos a vehículos automotores y existen topes a los registros vehiculares.

Probablemente el caso más exitoso durante varios años de STUS de un país en vías de desarrollo latinoamericano fue el de la ciudad de Curitiba en Brasil, la cual cuenta con una extensa red de autobuses en carriles exclusivos y celdas de tráfico en varias zonas a las que además es preferible llegar por medio de transporte público. Más recientemente, en los 90, Bogotá puso en marcha un programa encaminado a disminuir el uso de medios motorizados de transporte que ha tenido resultados satisfactorios reduciendo el porcentaje de viajes realizados en auto en 2% y aumentando los hechos en bicicleta y a pie en 4%. El gobierno de esta ciudad colombiana optó por una buena mezcla de mecanismos entre los cuales destacan la confinación de carriles para uso exclusivo de autobuses, la construcción de una red de 200 km de ciclistas y 17 km de zonas peatonales. Estas medidas fueron apoyadas por otras de carácter regulatorio como horas y días sin circular para ciertos vehículos, duplicación de las tarifas de estacionamiento y la prohibición de estacionarse sobre las

calles, a la vez que el impuesto a la gasolina se incrementó en un 20% (Sperling y Clausen, 2003).

6. Conclusiones

Los bajos niveles de calidad de vida que sufre la ZMCM son producto de distintas carencias, una de ellas, muy importante, la falta de un sistema de transporte limpio y eficiente que se traduce en tiempos prolongados de traslado y exposición a niveles ínfimos de calidad del aire. Las normas para contaminantes son usualmente rebasadas al tener calidad del aire no satisfactoria el 83% de los días, trayendo consigo considerables efectos negativos sobre la salud y el bienestar de los habitantes. Una de las fuentes más importantes de emisiones contaminantes es el sector transporte, en específico los autos particulares responsables del 46% de las emisiones de CO, el 23% de NO_x y el 9% de los HC, por lo cual se hace urgente la creación e implementación de programas diseñados para modificar la estructura modal del transporte en la ZMCM donde los medios de transporte que menos contaminan son los que actualmente son utilizados en menor medida. Por otra parte, se ha demostrado como las características topográficas y meteorológicas de la ZMCM agudizan aún más los problemas derivados del alto consumo de combustibles para transporte dentro de la zona.

El crecimiento económico en el DF de 1.44% anual durante el periodo de estudio y la dinámica demográfica sobre todo del EM, cuya población creció al 2.47% anualmente, han sido los factores demográficos que han mantenido el consumo de gasolina en la ZMCM por arriba del nivel óptimo para efectos del medio ambiente. El incremento en los viajes que se realizan entre los municipios y las delegaciones a causa de la suburbanización de la ZMCM ha contribuido de manera muy importante al crecimiento de la demanda de gasolina. Sin embargo, los cambios económicos y demográficos no son los únicos que determinan los

patrones de viaje de los habitantes de la ZMCM, es muy importante reconocer el papel que juega la infraestructura vial que permite el traslado de la creciente y alejada población de la zona.

También son estos factores junto a otros fenómenos sociales y políticos los causantes de los cambios en la distribución modal. En efecto, en el periodo de estudio se observa una clara tendencia hacia el uso de medios de transporte menos eficientes, privilegiando los de menor capacidad y los que más emisiones generan por pasajero kilómetro, como los automóviles particulares y los microbuses.

Cambiar la estructura modal del transporte no va a ser la panacea de los problemas de insustentabilidad de la ZMCM, pero contribuirá de manera muy importante. Hará falta todavía reubicar industrias, evitar la expansión de la mancha urbana e incrementar algunos de los precios de bienes y servicios que se proveen en esta urbe ayudando a reflejar de esa manera todos los costos en que se incurre al consumirlos. Al mismo tiempo deberán ofrecerse alternativas de movilidad. Será entonces, la solución a los problemas ambientales de la ZMCM, una que se tome en consenso con otros Estados y distintas dependencias, ya que implica la voluntad de muchos actores el poder alcanzar el objetivo de contar con una ZMCM sustentable.

Las ampliaciones a la infraestructura vial, que entre 1980 y 2002 fueron del orden del 2.56% anual, pertenecen a esa categoría de proyectos de gran envergadura que no deben pasar por alto crítica alguna, sugerencia o comentario, pues más allá de inclinaciones ideológicas, todos seremos afectados por tales obras, algunos de mayor o menor manera,

algunos positiva y otros negativamente. Lo importante es que se hagan los estudios técnicos, económicos y ambientales que hagan posible una evaluación confiable y completa de las repercusiones de dichos proyectos, los cuales, dentro del periodo de estudio, se conformaron en su mayoría por la construcción de los ejes viales y la conclusión de vías anulares y radiales.

A estas ampliaciones, así como a las otras variables demográficas se les asocia con el ritmo de crecimiento del consumo de gasolina que en el periodo fue de 1.55% al año, sugiriendo la presencia de tráfico inducido. El consumo de gasolina en la ZMCM es una serie creciente no estacionaria muy ligada a la de KRV y de acuerdo a los resultados del tercer y cuarto capítulos, los graves problemas ambientales y de eficiencia en la movilidad no encontrarán solución y al contrario se exacerbarán al intentar responder a los incrementos pronosticados de demanda de viajes con ampliaciones en la oferta vial para viajes en automóvil particular. Comparado con otros medios de transporte el automóvil es sumamente ineficiente pues es el que consume más energía y emite más contaminantes por pasajero-kilómetro, además de trasladar la menor cantidad de pasajeros por viaje y estar en los niveles más bajos en cuanto a velocidades promedio.

Más allá de los resultados obtenidos con el modelo econométrico de este trabajo, la evidencia empírica sobre este fenómeno, acumulada en distintas partes del mundo en los últimos años apoya con resultados similares la teoría del tráfico inducido y el tráfico suprimido. Las elasticidades promedio de los KRV con respecto a VIAL en los estudios más recientes son de 0.48 y 0.80 para el corto y largo plazo respectivamente.

Los resultados estadísticos arrojados por el modelo econométrico del presente estudio sobre tráfico inducido son consistentes con estudios previos. Además se ubica dentro del tipo de análisis con metodologías más sólidas, ya que se realiza sobre un área bien delimitada tanto geográfica como demográficamente, también porque la variable de oferta (*VIAL*) resulta adecuada por tratarse de un periodo donde ha crecido con constancia y los congestionamientos han estado presentes, y finalmente, porque se hace uso de un enfoque econométrico que goza de una gran cantidad de ventajas desde el punto de vista estadístico cuando se trata con series de tiempo. Las pruebas de causalidad de Granger-Sims aplicadas a *vial* y *gas* nos indicaron que existe una dirección causal que va de *vial* hacia *gas* y no al revés, desechando de esta manera una de las críticas más fuertes hacia la modelación del fenómeno del tráfico inducido.

En un ejercicio preeliminar siguiendo la metodología de Goodwin (1996), se encontraron en este trabajo elasticidades con respecto al tiempo de traslado de -0.60 para el corto plazo y de -1.35 para el largo plazo, las cuales resultaron mayores a las que Goodwin encontró para Inglaterra debido a que la elasticidad de la demanda de gasolina con respecto al precio fue menor en dicho país y a que los tiempos de traslado son tres veces mayores en México.

Es imperativo reconocer que los incrementos en la infraestructura vial inducen nuevos viajes en auto particular, esto es que hay una relación directa y positiva entre aumentos en *VIAL* y aumentos en *KRV*, ya que de esta manera se acepta que los impactos ambientales derivados de la construcción de vialidades no solo se reducen a los cambios de uso de suelo, sino que el daño ambiental estará conformado en una mayor proporción por el tráfico inducido que al final se traduce en mayores emisiones contaminantes. De estas emisiones

las más peligrosas para efectos de salud pública y el medio ambiente global son: 1) las partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) causantes de diversos tipos de enfermedades; 2) los precursores de ozono, lluvia ácida y eutrofización: NO_x y HC; y 3) el CO_2 , principal gas de efecto invernadero. Además, los autos particulares emiten casi la mitad del total de CO en la atmósfera, el cual es generado por la combustión incompleta de las gasolinas y que tiene efectos negativos sobre el rendimiento físico y mental de la población al producir dolores de cabeza y pérdida de visión.

En cuanto a la movilidad urbana, tampoco se encontrará una solución de largo plazo con políticas de transporte del tipo *prededir y proveer* pues al cabo de unos años las vialidades se saturan de nuevo y los tiempos de traslado vuelven a incrementarse. Nuestro modelo para la ZMCM encontró una elasticidad de largo plazo de 0.87 para GAS con respecto a VIAL, lo que implica que incrementos en vialidades del 10% tendrían una respuesta de la demanda de gasolina o KRV de incrementos del 8.7%, con sus respectivos impactos ambientales, de seguridad vial y ruido, reflejando además que este tipo de políticas tienen muy poca efectividad en el abatimiento de los graves problemas de movilidad y congestión en la ZMCM. En un horizonte de 10 años, tendríamos 10.3 KRV más por cada vehículo diariamente en la ZMCM como consecuencia de las ampliaciones viales. Por otra parte, la seguridad de los habitantes en la ZMCM también se vería reducida al incrementarse los KRV y el estrés generado por los congestionamientos. Además de esto, considerando la actual composición química de las gasolinas y el rendimiento de estas, las emisiones de CO se incrementarían en 30%, las de NO_x en 16% y las de HC en 11% agudizando los problemas ambientales y de salud locales. A nivel global, se encuentra que a consecuencia del tráfico inducido se expulsarían a la atmósfera 3.3 Mton de CO_2

dificultando el cumplimiento de la meta en disminución de GEI por parte de México, la cual se estableció en 1997 tras su compromiso hacia el mejoramiento del medio ambiente global plasmado en la firma del Protocolo de Kyoto.

Considerando que existen muchos costos asociados al uso del vehículo particular que no han sido incluidos en el precio que pagan los usuarios es evidente que cualquier punto de equilibrio en el mercado de viajes en automóvil no es realmente eficiente ni equitativo. Para lograr un nivel eficiente de KRV solo desde el punto de vista económico⁴⁵, será necesario internalizar todos los costos asociados al uso del vehículo en el precio que paga el usuario.

Trasladarse mediante un Sistema de Transporte Urbano Sustentable (STUS) en la ZMCM requiere que la planeación del sistema urbano de transporte este integrada a la planeación del uso de suelo urbano. Se debe además desincentivar el uso del auto particular y la adquisición de vehículos, sobre todo los de bajo rendimiento de combustible como las SUVs (Sport Utility Vehicle que son camionetas de lujo) que han tomado gran auge en los últimos años dentro de nuestro país. Por otro lado, atraer usuarios de transporte privado hacia el uso del transporte público o medios no motorizados como la bicicleta o caminar, será una tarea difícil mientras no se mejoren notablemente la infraestructura y seguridad de estos modos y en tanto no presenten ventajas considerables al compararse con otros.

De acuerdo a lo visto en el capítulo anterior, no cabe duda que existen alternativas viables en la actualidad que permitirían a la ZMCM contar con un STUS. Las inversiones no son

⁴⁵ Habría que averiguar todavía si el equilibrio económico es compatible con el ecológico y los estándares de salud.

tan cuantiosas como se piensa y además es posible contar con el apoyo del sector privado, organismos internacionales y gobiernos extranjeros que buscan reducir las emisiones globales de GEIs. Se puede comenzar por asignar carriles exclusivos y preferencia en intersecciones a autobuses más cómodos y seguros, que cuenten con un sistema de cobro previo y puertas amplias para agilizar las subidas y bajadas, que además puedan sincronizarse con otros medios para tener conexiones sin espera. A la vez habría que internalizar los costos sociales del uso del automóvil particular mediante incrementos en precios de gasolina y estacionamientos⁴⁶, impuestos de registro, así como analizar la posibilidad de cobrar el uso de vialidades en horas pico. Introducir celdas de tráfico y medidas de disminución de tráfico como más semáforos y curvas, redundarían también en reducciones importantes en los KRV y emisiones contaminantes.

Para que estas medidas no sean políticamente incómodas, deben ir acompañadas de una concientización del público acerca de los problemas que genera el uso del automóvil privado además de la provisión de medios de transporte público masivo de alta calidad, así como de medidas de seguridad e infraestructura para ciclistas y peatones. En realidad, dichas medidas serían apoyadas por un gran sector de la población de la ZMCM que es el que no cuenta con automóvil particular y que sufre las externalidades generadas por ese medio de transporte. Aumentar la extensión de las ciclopistas y mejorar los servicios de transporte público requerirán de inversiones que podrían ser cubiertas total o parcialmente por los impuestos y cobros que se hagan a los usuarios de autos particulares sin importar que la finalidad original de aquellos era solamente ayudar al mercado de viajes en auto a

⁴⁶ Los incrementos en precios de gasolina tendrían efectos más significativos que incrementos en los precios de los automóviles de acuerdo a los resultados del modelo econométrico del tercer capítulo.

alcanzar un nivel de eficiencia económica. Por otra parte, de acuerdo a Replogle (1995), esta comprobado que las medidas encaminadas a conseguir un STUS no tienen efectos negativos sobre la prosperidad económica sino que al contrario impulsan el crecimiento económico al optimizar la estructura de viajes de las comunidades.

La ZMCM reclama urgentemente un STUS que además sea eficiente y cómodo ya que aunado a los problemas ambientales, de salud y de seguridad de la zona, las vías para automotores están saturadas, lo cual deriva en excesivos costos asociados a los desplazamientos diarios dentro de la ZMCM donde de acuerdo a Fernández (2001), el 25% de los usuarios pasa cuatro horas o más por día desplazándose por la ciudad.

El buen funcionamiento de la ZMCM depende de muchas aristas a resolver, de las cuales una de las más importantes es la movilidad, por lo cual debemos encontrar la mejor vía para alcanzar un sistema de transporte suficiente, eficiente y limpio. Los estudios y análisis que incluyan los diversos impactos del tráfico inducido habrá que llevarlos a cabo y tomarlos en cuenta pues no harán más que indicarnos cual es el camino correcto para lograr nuestro objetivo primordial como analistas económicos: el máximo bienestar social con equidad.

Apéndice A. Abreviaturas

| | |
|------------------|---|
| ADF | Augmented Dickey-Fuller |
| CAM | Comisión Ambiental Metropolitana |
| CKRV | Costo de los Kilómetros Recorridos en Vehículo |
| CO | Monóxido de Carbono |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| DDF | Departamento del Distrito Federal |
| DF | Distrito Federal |
| ECMT | European Conference of Ministers of Transport |
| EM | Estado de México |
| EPA | US Environmental Protection Agency |
| EUA | Estados Unidos de América |
| GDF | Gobierno del Distrito Federal |
| GEI | Gas de Efecto Invernadero |
| HC | Hidrocarburos |
| IEA | International Energy Agency |
| IMECA | Índice Metropolitano de la Calidad del Aire |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática |
| KM | Kilómetros |
| KRV | Kilómetros Recorridos en Vehículo |
| MECE | Modelo Econométrico de Corrección de Errores |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| N _x | Oxidos de Nitrógeno |
| O ₃ | Ozono |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and Development |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| Pb | Plomo |
| PEMEX | Petróleos Mexicanos |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| PM ₁₀ | Partículas Suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro |
| RAMA | Red Automática y Manual de Monitoreo Atmosférico |
| SACTRA | Standard Advisory Committee on Trunk Road Assessment |
| SCNM | Sistema de Cuentas Nacionales de México |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| SETRAVI | Secretaría de Transporte y Vialidad |
| SO ₂ | Dióxido de Azufre |
| STUS | Sistema de Transporte Urbano Sustentable |
| TAS | Transporte Ambientalmente Sustentable |
| TRB | Transportation Research Board |
| VAR | Modelo de Vectores Autorregresivos |
| ZMCM | Zona Metropolitana de la Ciudad de México |

Apéndice B. Estadístico

Cuadro B.1
Inventario de la Red Vial del Distrito Federal

| VIALIDAD | TRAMO CONSTRUIDO | KM. |
|--|---|----------------|
| <i>Anillo Periférico</i> | Av. De los Rosales-Santa Cruz | 5,17 |
| <i>Anillo Periférico</i> | Lago de Texcoco- Av Valle Alto | 3,84 |
| <i>Anillo Periférico</i> | F.F.C.C. Del Sur-Calz. Ing. Militares | 49,81 |
| | Total | 58,82 |
| <i>Círculo Interior</i> | | 42,981 |
| <i>Calzada De Tlalpan</i> | J. María Izazaga-Av. Insurgentes Sur | 17,701 |
| <i>Viaducto Miguel Anillo Periférico-</i> | <i>Calz. Ignacio</i> | |
| <i>Aleman</i> | Zaragoza | 12,25 |
| <i>Viaducto Rio Becerra</i> | Av. San Antonio-Viaducto M. Aleman | 1,879 |
| <i>Calzada</i> | <i>Ignacio</i> | |
| <i>Zaragoza</i> | Eje 3 Ote.-Autopista México Puebla | 14,12 |
| | Av. De Las Culturas-Calz. México | |
| <i>Aquiles Serdan</i> | Tacaba | 9,806 |
| | Calz. Ingenieros Militares-C.I. Melchor | |
| <i>Rio San Joaquin</i> | Ocampo | 5,46 |
| <i>Gran Canal</i> | Rio de Los Remedios- Eje 1 Norte | 8,41 |
| Total Kms. De Vialidades de Acceso Controlado | | 171,427 |

| VIALIDAD | KM. | VIALIDAD | KM. | VIALIDAD | KM. |
|----------------------------|-------|------------------------------|------|---------------------------|------|
| <i>Av. Insurgentes</i> | 34,52 | <i>Bahía de Sta. Barbara</i> | 1,47 | <i>Av. Universidad</i> | 7,51 |
| <i>Paseo de la Reforma</i> | 14,54 | <i>Chivatito</i> | 4,06 | <i>Dr. Vertiz</i> | 4,11 |
| <i>Calzada Guadalupe</i> | 3,76 | <i>Bosques de La Reforma</i> | 2,77 | <i>División del Norte</i> | 11 |

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------|----------------------------------|--------------|------------------------------|---------------|
| <i>Calzada Misterios</i> | 4,3 | <i>Rio Tacubaya</i> | 0,85 | <i>Cumbres de Maltrata</i> | 2,67 |
| <i>Av. 608</i> | 2,88 | <i>Palmas</i> | 4,05 | <i>Plutarco Elias Calles</i> | 4,16 |
| <i>Acueducto-I. P. N.</i> | 7,11 | <i>Calz. Mariano Escobedo</i> | 4,16 | <i>Calz. De La Viga</i> | 0,95 |
| | | <i>Calz Al Desierto de Los</i> | | | |
| <i>Chalma La Villa</i> | 1,81 | <i>Leones</i> | 1,23 | <i>Calz. Acoxta</i> | 9,02 |
| | | <i>Camino al Desierto de Los</i> | | | |
| <i>V. Carranza</i> | 6,08 | <i>Leones</i> | 15,75 | <i>Canal de Tezontle</i> | 3,89 |
| <i>FFCC Monte Alto</i> | 0,69 | <i>Paseo del Pedregal</i> | 3,26 | <i>Av. Texcoco</i> | 7,87 |
| <i>Madero</i> | 1,66 | <i>Av. Centenario</i> | 10,47 | <i>Av. Canal Nacional</i> | 1,24 |
| <i>5 de Febrero</i> | 0,16 | <i>Calz. De Las Aguilas</i> | 8,03 | <i>Av. Canal De Chalco</i> | 3,3 |
| <i>16 de Septiembre</i> | 0,07 | <i>Barranca del Muerto</i> | 0,48 | <i>Camino A Nativitas</i> | 5,94 |
| <i>20 de Noviembre</i> | 0,65 | <i>Camino A Santa Fe</i> | 10,49 | <i>México Tenochtitlan</i> | 1,02 |
| <i>Jose Maria Pino</i> | | | | | |
| <i>Suarez</i> | 1,01 | <i>San Bernabé</i> | 7,78 | <i>Cuauhtémoc</i> | 0,7 |
| <i>Galindo y Villa</i> | 2,38 | <i>San Jeronimo</i> | 6,27 | <i>Tlahuac Chalco</i> | 5,34 |
| <i>Av. Ceylan</i> | 3,1 | <i>Luis Cabrera</i> | 3,4 | <i>Tlahuac Tulyehualco</i> | 1,67 |
| <i>Ricardo Flores Magon</i> | 4,46 | <i>Carretera Picacho Ajusco</i> | 11,3 | <i>La Morena</i> | 1,99 |
| | | | | <i>Aut. México</i> | |
| <i>Av. De Las Granjas</i> | 4,72 | <i>Canal de Miramontes</i> | 2,34 | <i>Cuernavaca</i> | 1,87 |
| | | | | <i>Autopista México</i> | |
| <i>Heliopolis</i> | 1,41 | <i>Calz. De Tlalpan</i> | 4,55 | <i>Toluca</i> | 19,8 |
| | | | | <i>Autopista México</i> | |
| <i>Calz. Legaria</i> | 5,05 | <i>Zacatepetl</i> | 0,92 | <i>Puebla</i> | 6,33 |
| <i>Ejercito Nacional</i> | 3,19 | <i>Camino A Santa Teresa</i> | 7,23 | Total de Km's de | |
| <i>Av. Del Conscripto</i> | 1,28 | <i>Calz. Del Hueso</i> | 4,5 | arterias principales | 320,57 |

| VIALIDAD | TRAMO CONSTRUIDO | KM. | TRAMO FALTA EQUIPAMIENTO | KM. |
|------------------------------------|--|--------|---------------------------------------|--------|
| <i>Eje 1 Norte</i> | Av De Los Maestros-Calle 7 | 12,541 | | |
| <i>Eje 1A Norte</i> | | | | |
| <i>Eje 2 Norte</i> | Calz. Camarones-Av. Oceaía | 8,648 | | |
| <i>Eje 3 Norte</i> | Calz. De Las Armas-Av 412 | 19,679 | | |
| | Av. Aquiles Serdan-Av. Insurgentes | 9,551 | | |
| <i>Eje 4 Norte</i> | Calz. Guadalupe-Av. 412 | 5,302 | | |
| <i>Eje 5 Norte</i> | Av. De Las Culturas. Villa Cacama | 16,491 | | |
| | Av. Aquiles Serdan-F.F.C.C. Central | 2,043 | | |
| <i>Eje 6 Norte</i> | Calz. Misterios-Veracruz | 6,011 | | |
| | Paseo de La Reforma-Anillo de Circunvalación | 12,964 | | |
| <i>Eje 1 Sur</i> | | | | |
| <i>Eje 1A Sur</i> | Av. Chapultepec-Río Churubusco | 8,099 | | |
| | C. I. Melchor Ocampo-Viaducto Miguel Aleman | 8,999 | | |
| <i>Eje 2 Sur</i> | | | | |
| <i>Eje 2A Sur</i> | Monterrey-Jose Tomas Cuellar | 3,634 | | |
| <i>Eje 3 Sur</i> | Parque Lira-Canal de Tezontle | 14,331 | | |
| <i>Eje 4 Sur</i> | Av. Constituyentes-Canal de San Juan | 17,821 | | |
| <i>Eje 5 Sur</i> | Av. Revolución-Rep. Federal del Sur | 17,771 | | |
| | | | | |
| <i>Eje 5 Y 6 Sur</i> | Av. Central-Av. Revcolución | 1,429 | | |
| <i>Eje 6 Sur</i> | Av. Revolución-Vicente Guerrero | 18,031 | | |
| <i>Eje 7 Sur</i> | Av. Revolución-C.I. Río Churubusco | 6,517 | | |
| <i>Eje 7A Sur</i> | México Coyoacan-C.I. Río Churubusco | 3,784 | | |
| | | | C.I. Río Churubusco-Felipe de Jesus | 8,141 |
| | Av. Revolución-C.I. Río Churubusco | 6,276 | Genaro Estrada-Calz. Ignacio Zaragoza | 5,962 |
| <i>Eje 8 Sur</i> | Felipe de Jesus-Genro Estrada | 2,779 | Desierto de los Leones-Av. Tlahuac | 16,672 |
| <i>Eje 9 Sur</i> | Transmisiones-Av. Toluca | 1,007 | | |
| | Anillo Periferico-Pacifico | 9,327 | Eje 3 Oriente Carlota Armero-Olivo | 6,694 |
| <i>Eje 10 Sur</i> | Olivo-Guillermo Prieto | 2,118 | | |
| | | | | |
| <i>Eje Central Lazaro Cardenas</i> | Río Tlalnepantla-C.I. Av. Río Churubusco | 19,57 | | |
| | | | | |
| | Río de Los Remedios-Fenix | 5,112 | | |
| | Av. Canal de Miramontes-Anillo Periferico | 3,372 | | |
| <i>Eje 1 y 2 Oriente</i> | | | | |
| <i>Eje 1 Oriente</i> | Fenix-Calz. de La Salud | 20,231 | | |
| <i>Eje 2 Oriente</i> | Fenix-Av. Canal de Miramontes | 18,881 | | |
| | Río de los Remedios-Av. Del Taller | 11,351 | | |
| | Av. Del Taller-Calle 8 | 5,227 | | |
| <i>Eje 3 Oriente</i> | Calle 8-Anillo Periferico | 8,879 | | |

| VIALIDAD | TRAMO CONSTRUIDO | KM. | TRAMO FALTA EQUIPAMIENTO | KM. |
|---|---|---------------|-------------------------------------|--------|
| <i>Eje 4 Oriente</i> | Calle 7-Calz. Ignacio Zaragoza | 3,025 | Calz. Ignacio Zaragoza-Publicistas | 4,375 |
| | | | Calz. Ermita Iztapalapa-Luis Galvan | 3,102 |
| <i>Eje 5 Oriente</i> | Rio Churubusco-Calz. Ermita Iztapalapa | 7,454 | | |
| <i>Eje 6 Oriente</i> | Calz. Ignacio Zaragoza-Canal de Tezontle | 1,971 | | |
| <i>Eje 7 Oriente</i> | Av. Texcoco-Cabeza de Juarez | 0,821 | Circunvalación-Sta Cruz Meyehualco | 2,657 |
| <i>Eje 1 Poniente</i> | Av. Tlalnepantla Tenayuca-C.I. Rio Churubusco | 19,871 | | |
| <i>Eje 2 Poniente</i> | C.I. Melchor Ocampo-C.I. Rio Churubusco | 8,721 | | |
| <i>Eje 3 Poniente</i> | C.I. Rio Churubusco-Rio San Joaquin | 9,993 | | |
| <i>Av. Revolución</i> | Molinos-Ciudad Universitaria | 4,646 | | |
| <i>Eje 5 Poniente</i> | | | | |
| <i>Eje 6 Poniente</i> | Gobernador Sanchez Colin-Rio San Joaquin | 2,395 | | |
| <i>Eje 6A Poniente</i> | Camino Real de San Martín-Invierno | 2,997 | | |
| <i>Eje 7 Poniente</i> | Aquiles Serdan-Calz. De La Naranja | 3,893 | | |
| | Total | 373,563 | Total | 47,603 |
| Total de Kms. de Ejes Viales Construidos | | 421,16 | | |

Km

| | |
|--|--------|
| Total Kms. de Vialidades de Acceso Controlado | 171,42 |
| Total de Kms. de Ejes Viales Construidos | 421,16 |
| Total de Kms. de Arterias Principales | 320,57 |
| Total | 913,15 |

Km

| | |
|---|-----------------|
| Red Vial Primaria (Considerando vialidad construida y con falta de equipamiento) | 913,15 |
| Red Vial Secundaria (Considerando la vialidad primaria proyecto) | 9269,06 |
| Red Vial Total | 10182,21 |

Cuadro B.2
Datos del Modelo

| Año | Ventas de Gasolina en el Valle de México (Miles de barriles diarios) | Precio por litro de Gasolina (Base junio 2002) | INPC ZMCM (Base junio 2002) | Vialidad Primaria (Kms lineales)* | Indice de Precios de Autos (Base junio 2002) | PIB Nacional (Millones de pesos de 1993) | Precios Relativos Autos |
|------|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|--|--|-------------------------|
| 1980 | 83.2 | 2.63 | 0.114 | 286.7 | 0.164 | 947,779.06 | 143.155 |
| 1981 | 94.6 | 4.28 | 0.147 | 328.5 | 0.207 | 1,028,743.01 | 140.346 |
| 1982 | 95.0 | 2.77 | 0.232 | 347.05 | 0.330 | 1,023,016.99 | 142.102 |
| 1983 | 86.4 | 5.09 | 0.459 | 347.05 | 0.710 | 987,597.28 | 154.737 |
| 1984 | 96.7 | 5.03 | 0.746 | 367.01 | 1.214 | 1,021,316.37 | 162.686 |
| 1985 | 87.4 | 4.88 | 1.174 | 371.51 | 2.059 | 1,043,817.94 | 175.404 |
| 1986 | 88.2 | 4.92 | 2.171 | 375.26 | 3.956 | 1,011,278.43 | 182.212 |
| 1987 | 88.7 | 4.31 | 4.984 | 383.76 | 9.888 | 1,028,846.33 | 198.400 |
| 1988 | 89.2 | 4.55 | 10.597 | 385.16 | 20.667 | 1,042,066.10 | 195.033 |
| 1989 | 95.2 | 3.84 | 12.756 | 385.16 | 20.917 | 1,085,815.10 | 163.975 |
| 1990 | 99.7 | 3.61 | 16.343 | 389.86 | 22.944 | 1,140,847.50 | 140.386 |
| 1991 | 107.8 | 3.94 | 19.997 | 435.86 | 26.267 | 1,189,017.00 | 131.354 |
| 1992 | 106.9 | 4.80 | 23.232 | 440.36 | 29.235 | 1,232,162.30 | 125.839 |
| 1993 | 110.2 | 5.06 | 25.500 | 440.36 | 31.441 | 1,256,196.00 | 123.296 |
| 1994 | 114.9 | 4.67 | 27.216 | 440.76 | 32.288 | 1,311,661.10 | 118.636 |
| 1995 | 110.1 | 4.83 | 36.993 | 449.06 | 49.972 | 1,230,771.10 | 135.086 |
| 1996 | 107.6 | 5.02 | 49.975 | 469.86 | 63.758 | 1,294,196.60 | 127.579 |
| 1997 | 110.2 | 5.17 | 60.986 | 475.06 | 78.017 | 1,381,839.20 | 127.926 |
| 1998 | 111.5 | 5.22 | 70.677 | 487.94 | 86.583 | 1,451,350.90 | 122.506 |
| 1999 | 111.8 | 5.60 | 82.310 | 487.64 | 97.477 | 1,503,930.00 | 118.427 |
| 2000 | 114.2 | 5.71 | 89.772 | 500.01 | 103.286 | 1,602,542.80 | 115.054 |
| 2001 | 116.0 | 5.82 | 94.860 | 500.01 | 103.556 | 1,599,787.40 | 109.166 |
| 2002 | 116.9 | 5.89 | 99.839 | 500.01 | 100.816 | 1,611,666.70 | 100.979 |

*Es la suma de kilómetros en vialidades de acceso controlado y ejes viales. No se incluyen los kilómetros en avenidas principales debido a que la información es demasiado inconsistente.

Cuadro B.3
Pruebas de Diagnóstico sobre el VAR

| Prueba | gas_t | pib_t | $vial_t$ | pg_t |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $LM(1-1); F(1,6)$ | 0.014 (0.90) | 2.316 (0.178) | 7.00 (0.038)* | 0.044 (0.839) |
| $ARCH(1); F(1,5)$ | 0.036 (0.855) | 0.561 (0.487) | 0.032 (0.864) | 0.118 (0.744) |
| $JB, \chi^2(2)$ | 0.643 (0.724) | 0.832 (0.659) | 3.115 (0.210) | 3.326 (0.189) |

LM: Prueba del Multiplicador de Lagrange para autocorrelación de los errores

ARCH: Prueba de Heterocedasticidad Autorregresiva de los errores

JB: Prueba de normalidad de Jarque-Bera

* Indica rechazo de la hipótesis nula

Referencias Bibliográficas

- Berndt, E.R. y Botero, G., 1985, "Energy demand in the transportation sector of Mexico," *Journal of Development Economics*, 16 (2), pp. 219-238
- Cairns, Sally, Carmen Hass-Klau y Phil Goodwin, 1998, *Traffic Impact of Highway Capacity Reductions: Assessment of the Evidence*, Landor Publishing: London.
- Cairns, Sally, Atkins, S. y Goodwin, P., 2002, *Disappearing Traffic? The Story So Far*, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, University College London, Paper I2772
- CAM (Comisión Ambiental Metropolitana), 2001, *Inventario de Emisiones 1998 de la Zona Metropolitana del Valle de México*, México
- Cervero, Robert y Mark Hansen, 2000, *Road Supply-Demand Relationships: Sorting Out Causal Linkages*, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, UCTC # 444
- Cervero, Robert, 2001, *Induced Demand: An Urban and Metropolitan Perspective*, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, UCTC # 648
- CESPEDES, 2002, *Un Segundo Piso a Vialidades Troncales en la Ciudad de México. Riesgos y Conjeturas*, México
- Christopherson, Robert W., 2003, *Geosystems: An Introduction to Physical Geography*, Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersey
- Cohen, Harry, 1995, "Review of Empirical Studies of Induced Traffic," Appendix B, *Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use*, Transportation Research Board, Special Report #345, National Academy Press (Washington DC), pp. 295-309.
- DeCorla Souza, Patrick y Cohen, Harry, 1999, "Estimating Induced Travel For Evaluation of Metropolitan Highway Expansion," *Transportation*, Vol. 26, pp. 249-261.
- Delucchi, Mark, 1997, *The Annualized Social Cost of Motor-Vehicle Use in the U.S., 1990-1991: Summary of Theory, Data, Methods, and Results*, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, UCTC # 311
- De Jong, Gerard y Gunn, Hugh, 2000, "Recent Evidence on Car Cost and Time Elasticities of Travel Demand in Europe," *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (2), pp. 137-160
- Dickey, D.A., Fuller, W.A., 1981, "Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root", *Econometrica*, 49, pp. 1057-1072

DDF, 1984, *Anuario de Transporte y Vialidad del Distrito Federal 1983*, Coordinación General de Transporte, México, D.F.

DDF, 1995, *Anuario de Transporte y Vialidad del Distrito Federal 1994*, Coordinación General de Transporte y Secretaría de Transporte y Vialidad, México, D.F.

Downs, Anthony, 1992, *Stuck in the Traffic*, Brookings Institute, Washington, D.C.

ECMT, 2001a, *Implementing Sustainable Urban Transport Policies*, ECMT-OECD, Paris, p. 42

ECMT, 2001b, *Implementing Sustainable Urban Transport Policies. Key Message for Governments*, ECMT-OECD, Paris, p. 42

Engel, R.F. y Granger, C.W.J., 1987. "Cointegration and error correction: representation, estimation and testing", *Econometrica*, Vol. 55, pp. 251-276

Ericsson, Neil, 1992, "Cointegration, Exogeneity and Policy Analysis: An Overview", *Journal of Policy Modeling*, 14 (3), pp. 251-280

Eskeland, G. y Feyzioglu, T., 1997, "Is demand for polluting goods manageable?. An econometric study of car ownership in Mexico", *Journal of Development Economics*, Vol. 53, pp. 423-445

Evans, J, *et al.*, 2002, "Health Benefits of Air Pollution Control" Cap. 4 en Molina, L.T. y Molina, M.J (editores). *Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, MIT, Boston

Fernández, A., y Spengler, D., 1994, "Reducción de la exposición de los viajeros frecuentes a los contaminantes del aire: beneficios directos de introducción de vehículos limpios", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 53-58.

Fernández, Adrián, 2001, "La contaminación del aire, cómo combatir este problema de salud" en *La Jornada-Ecológica*, México, pp.1-15

Flora, John, 1998, "Keynote Address", *Proceedings: Conference on Transportation in Developing Countries*, University of California Transportation Center, UCTC # 387, pp.3-12

Fulton, Lewis M., Daniel J. Meszler, Robert B. Noland, y John V. Thomas, 2000, "A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the US Mid-Atlantic Region", *Journal of Transportation and Statistics*, 3(1), pp. 1-14.

Gakenheimer, R, *et al.*, 2002, "The MCMA Transportation System: Mobility and Air Pollution" Cap. 6 en Molina, L.T. y Molina, M.J (editores). *Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, MIT, Boston

Galindo, L.M., Heres, D.R. y Sánchez. L., 2004, *Tráfico Inducido en México: Una Aproximación Empírica*, documento de trabajo del proyecto en México del Programa Integral de Contaminación Urbana, Regional y Global del MIT

GDF, 2000. *Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000*, México, D.F

GDF, 2002, *Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006*, México, D.F

Goodwin, Phil B., 1996, "Empirical evidence on induced traffic, a review and synthesis", *Transportation*, 23, pp. 35-54.

Granger, C., 1969, "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods", *Econometrica*, 37, pp. 424-438

Granger, C. y Newbold, P., 1974, "Spurious regressions in econometrics", *Journal of Econometrics*, 2, pp.111-120

Hansen, Mark, *et al.*, 1993, *The Air Quality Impacts of Urban Highway Capacity Expansion: Traffic Generation and Land Use Change*, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, ISSN 0192 4095.

Hansen, Mark, 1998, "The Traffic Inducement Effect: Its Meaning and Measurement", *Transportation Research Circular*, 481, pp. 7-15

Hansen, Mark y Yuanlin Huang, 1997, "Road supply and traffic in California urban areas", *Transportation Research A*, 31, pp. 205-218.

Harberger, Arnold, 1972, *Project Evaluation: Collected Papers*, Chicago, University of Chicago, p. 330

Harris, Jonathan M., 2002, *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*, Houghton Mifflin Company, Boston

Heanue, Kevin, 1998, "Highway Capacity and Induced Travel: Issues, Evidence and Implications", *Transportation Research Circular*, no. 481, Transportation Research Board, National Research Council.

Hendry, D.F., 1995, *Dynamic Econometrics*, Oxford University Press, Oxford

Hills, Peter J., 1996, "What is induced traffic?", *Transportation*, 23, pp. 5-16.

INEGI (2001), *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana*, México

INEGI (2002), *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Síntesis de Resultados. Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, México

International Energy Agency, 2001, *Oil Information*, IEA, Paris

Kwiatkowski, D, Phillips, P.C.B., Schmidt, P., Shin, Y, 1992, "Testing the null hypothesis of stationary against the alternative of a unit root", *Journal of Econometrics*, 54, pp. 159-178

Litman, Todd, 2003, *Generated Traffic and Induced Travel: Implications for Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute. B.C.

Johansen, S., 1988. "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, pp. 231-254

Mokhtarian, Patricia, et al., 2002. "Revisiting the Notion of Induced Traffic Through A Matched-Pairs Study," *Transportation*, Vol. 29, pp. 193-202.

Maddala, G.S. y Kim, I., 1998. *Unit Roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press, Cambridge

Mackie, Peter J., 1996, "Induced Traffic and economic appraisal", *Transportation*, 23, pp. 103-119

Mogridge, M.J.H., D.J. Holden, J. Bird y G.C. Terzis, 1987, "The Downs/Thomson Paradox and the Transportation Planning Process", *International Journal of Transport Economics*, 14(3): 283-311.

Molina, L.T. y Molina, M.J, 2002a, "Air Quality Impacts: Local and Global Concern" Cap. 1 en Molina, L.T. y Molina, M.J (editores). *Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, MIT, Boston

Molina, L.T. y Molina, M.J, 2002b, "Clearing the Air: A Comparative Study" Cap. 2 en Molina, L.T. y Molina, M.J (editores). *Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, MIT, Boston

Molina, M.J, et al., 2002, "Air pollution Science in the MCMA" Cap. 5 en Molina, L.T. y Molina, M.J (editores). *Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, MIT, Boston

NAFIN (Nacional Financiera), 1988, *La economía mexicana en cifras*, 10ma Edición, México

Ng, S y Perron, P, 1995, "Unit root tests in ARMA models with data depend methods for the selection of the truncation lag", *Journal of the American Statistical Association*, 90, pp. 268-281

Noland, Robert B., 2001, "Relationships Between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel", *Transportation Research A*, 35(1), pp. 47-72.

Noland, Robert B., y William A. Cowart, 2000, "Analysis of Metropolitan Highway Capacity and the Growth in Vehicle Miles of Travel", *Transportation*, 27(4), pp. 363-390.

Noland, Robert B y Lem, Lewison L. 2000. *Induced Travel: A Review of Recent Literature and the Implications for Transportation and Environmental Policy*, (www.cts.cv.ic.ac.uk/staff/wp2-noland.pdf)

OECD, 1999, *Environmentally Sustainable Transport. Final Report on Phase II of the OECD EST Project. Volume 1: Synthesis Report*, Environment Policy Comitee, Paris.

Pearce, David, 1975, "Los Límites del Análisis Coste-Beneficio como Guía para la Política del Medio Ambiente" en *Hacienda Pública Española* No. 37, pp. 61-71

Phillips, P.C.B., y Perron, P., 1988, "Testing for unit roots in time series regression", *Biometrika*, 75, pp. 335-346

Pindyck, R, 1979, *The Structure of World Energy Demand*, MIT Press, Cambridge, MA

Pindyck, R. y Rubinfeld, D., 1998, *Microeconomía*, Cuarta Edición, Prentice Hall, Madrid.

Quintanilla, Juan y Bauer, Mariano, 1994, "La modificación del horario de trabajo semanal como medida para el manejo de la demanda de energía en el sector transporte", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 101-104

Replogle, Michael, 1994, "Estrategias de transporte integradas para un desarrollo sustentable", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 17-24.

Replogle, Michael, 1995, "Minority Statement," Appendix E, *Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use*, Transportation Research Board, Special Report #345, National Academy Press (Washington DC), pp. 354-379.

SACTRA, 1994, *Trunk roads and the generation of traffic*, Department of Transport, Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, London.

Schol, Erna, et al., 1994, "Contribución de los conceptos de propiedad compartida de autos en la solución de problemas de tránsito y transporte y el posible papel de los vehículos eléctricos", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 105-110

Scheinbaum, C., et al., 1994, "Energía y Transporte de pasajeros en la ZMCM", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 111-116

SEMARNAT, 2003, *Compendio de Estadísticas Ambientales* en www.semarnat.gob.mx

Short, Jack, 2003, *International Workshop on fostering successful implementation of sustainable urban travel policies*, ECMT, Washington, D.C.

Sims, C., 1980, "Macroeconomics and Reality", *Econometrica*, 48(1), pp. 1-48

Sperling, Daniel y Clausen, Eileen, 2003, *The Developing World's Motorization Challenge*, Institute of Transportation Studies, University of California, UCTC # 688

Transportation Research Board, 1995, *Expanding metropolitan highways: implications for air quality and energy use*, Special report 245, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.

Transtech Management, Inc y Hagler Bailly, 2000. *Assesing the Issue of Induced Travel: A briefing on Evidence and Implications from the Literature*, Draft 7/6/00

Walsh, Michael P., 1994, "Tendencias del transporte automotor, implicaciones para la protección ambiental, eficiencia en el uso de la energía y desarrollo sustentable", *Conferencia Internacional Hacia un Transporte Limpio: Vehículos Limpios de Bajo Consumo*, Memoria, México, Ciudad de México, pp. 1-10

Williams, Huw C. W. L. y Yamashita, Yaeko, 1992. "Travel Demand Forecasts and the Evaluation of Highway Schemes Under Congested Conditions," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 26(3), pp. 261-282.

World Bank, 2003, *World Development Indicators*, World Bank, Washington, D.C.

Zahavi, Yacov y James M. Ryan, 1980, "Stability of Travel Components over Time", *Transportation Research Record*, 750, pp. 19-26.

Zahavi, Yacov y Antti Talvitie, 1980, "Regularities in Travel Time and Money Expenditures", *Transportation Research Record*, 750, pp. 13-19.