
ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE MEDIDAS DE TRANSPORTE EN LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

Máximo Bosch
Raúl O’Ryan
Eduardo Matamala

Resumen

En este artículo se analiza la reducción de emisiones de las fuentes móviles en Santiago al aplicar un conjunto de instrumentos económicos y de gestión, entre ellos el uso de pistas exclusivas. Además para cada caso se estiman los beneficios monetarios asociados a las reducciones de tiempo de viaje, consumo de combustible y otros costos operacionales.

El objetivo central del estudio es aprovechar las capacidades del modelo de Santiago (basado en la plataforma EMME/2) para establecer las reducciones de emisiones posibles para cada uno de estos instrumentos. Para determinar las emisiones fue necesario desarrollar un módulo de estimación de emisiones vehiculares (MEEV) asociado a los flujos que entrega el modelo de Santiago.

En la sección uno se presentan antecedentes sobre la contaminación y el transporte urbano en Santiago que muestran la conveniencia de desincentivar el uso de vehículos particulares. En la misma sección se presenta un resumen de las medidas de transporte más comunes, las cuales se separan en tres tipos: Instrumentos económicos, medidas de regulación y restricciones físicas. En la 2ª sección se muestran las bases del modelo de Santiago como también el funcionamiento del MEEV que se implementó para el presente estudio. A continuación, se entregan las variaciones de las emisiones para los instrumentos estudiados que son pistas exclusivas para transporte público, tarificación de cordón en la zona oriente, tarificación zonal en el centro, cobro de estacionamientos y subsidio al transporte público. Finalmente, se presenta una evaluación económica en que se incluye las reducciones de tiempo de viaje, consumo de combustible y otros costos operacionales.

1. Antecedentes

En esta sección se presentan antecedentes de la ciudad de Santiago que muestran el estado del transporte y la contaminación asociada a él. Además se nombran las principales medidas de transporte existentes.

1.1 Contaminación en Santiago

La creciente actividad económica en la ciudad trae consigo altos niveles de contaminación. Además, la gran extensión y segregación existentes provocan un progresivo deterioro en el transporte el cual se traduce en un aumento de las distancias recorridas, de los tiempos de viaje y de los flujos vehiculares, lo que incrementa las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

El año 1997 CONAMA realizó un inventario de emisiones para la ciudad de Santiago el que entrega una estimación de los contaminantes emitidos por cada tipo de fuente a la atmósfera. Los contaminantes considerados en este inventario son PM10 (material particulado), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), COV (compuestos orgánicos volátiles) y SO_x (óxidos de azufre). Se incluyen el COV y el SO_x ya que influyen en la formación de ozono y material particulado secundario. Esto se presenta en el siguiente cuadro.

	PM10 Ton/Año	CO Ton/Año	NO _x Ton/Año	COV Ton/Año	SO ₂ Ton/Año
Transporte	2731	225992	30943	28416	3157
Industria, comercio y Construcción	3176	4303	10959	19275	17038
Agricultura	1532	9493	359	9669	0
Domesticas	1359	5134	1567	4859	975
Polvo Resuspendido	32986	0	0	0	0
Total	41784	244922	43828	62219	21170
Responsabilidad transporte [%]	67,3	92,3	70,6	45,7	14,9

Cuadro 1: Fuentes Responsables de las emisiones

Fuente: CONAMA, Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana.

Parte importante de la contaminación de Santiago es producida por el transporte. En particular, se debe mencionar que aproximadamente el 77% del polvo resuspendido es producido por el transporte [CONAMA,1997].

1.2 El transporte urbano en Santiago

En el gran Santiago se realizan 7,4 millones de viajes motorizados diarios. De este total un 24% se realiza en automóvil, el 61% en transporte público de superficie y un 12% en metro [Wityk, Dourthé y Malbrán, 1999]. Además, como se observa en el cuadro 2, un 20% de los viajes totales corresponden a caminata [SECTRA,1991].

El número de automóviles se ha incrementado en forma explosiva durante los últimos años gracias al aumento del ingreso de las personas y reducción de costos de los vehículos. En 1966, los 2,4 millones de residentes de Santiago eran propietarios de menos de 50.000 automóviles, para 1977 el número de vehículos particulares había subido a 208.000. El año 1998 existían 750.000 vehículos particulares y se estima una tasa de crecimiento del parque de un 10% anual. Con ello, en la actualidad el total de autos supera el millón.

No solo ha aumentado el número de autos sino también su uso. En efecto, en el cuadro 2 se observa que en solo 14 años la participación de viajes en auto sobre el total de viajes aumentó en más de 60%, mientras que la proporción de viajes en bus disminuyó en 27%. Además, en el periodo, el número de viajes por persona aumentó de 1,14 viajes/persona a 2.12 viajes/persona, debido al incremento de ingresos y a la expansión urbana.

Modo	1977 [%]	1991 [%]
Auto	9.8	15.9
Bus	66.4	48.7
Metro	3.3	5.0
Caminata	16.4	19.8
Taxi Colectivo	N.A.	2.1
Otro	4.2	8.5

Cuadro 2 : Viajes por modo en el Gran Santiago, 1977-1991

Fuente: SECTRA, Encuesta Origen Destino de Viajes en la Gran Santiago 1991

Debido a que los principales motivos de viaje en la ciudad son el trabajo y el estudio, los cuales tienen una hora de inicio similar, se producen horas de alta congestión que tienen relación con la hora de entrada al trabajo y al colegio.

Una de las principales características de la ciudad de Santiago, desde el punto de vista del transporte, es su segregación y especialización espacial, lo que lleva a que las comunas sean altamente dependientes entre sí. La especialización se manifiesta en la existencia de comunas dedicadas fundamentalmente a residencias, otras a industrias, a finanzas, a comercio, etc. La ubicación de las nuevas poblaciones se realiza generalmente en la periferia, lejos de las industrias y con un equipamiento insuficiente (supermercados, colegios, hospitales, etc.), lo que produce un aumento en las distancias de viaje especialmente de los sectores más pobres. Por ejemplo, en todo Santiago se realizan 2,5 millones de viajes por razones de estudio de los cuales el 48% son intercomunales [SECTRA,1998], pese a que se podría esperar que la mayoría de los niños fuera a colegios cercanos a su casa.

1.3 Los costos ocultos del automóvil

El uso del automóvil presenta muchos costos que no son vistos por los conductores y que afectan negativamente a la ciudad. El aumento del uso del automóvil presenta los siguientes costos ocultos.

- Costos del gobierno, policía, ambulancias, bomberos, costos de construcción y mantención.
- Impuestos no recaudados por áreas en donde se construyeron calles.
- Costo real de los estacionamientos.
- Contaminación del aire, agua y suelo.
- Ruido, vibraciones.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (Calentamiento global).
- Déficit de infraestructura.
- Pérdidas de opciones de transporte.
- Accidentes de autos.
- Congestión.

De acuerdo a estudios realizados en Estados Unidos, los costos ocultos de uso del automóvil van de US\$378-US\$730 billones de dólares anuales, lo cual es equivalente a un subsidio de US\$ 5,21-US\$ 10,07 por galón de gasolina o US\$2.185-US\$4.220 por automóvil por año [EPA, 1997].

En particular es interesante comparar la contaminación producida por una persona que utiliza el transporte público y otra que usa el transporte privado (automóvil). Se puede ver la importancia desde el punto de vista de las emisiones de incentivar el transporte público.

	Transporte Privado	Transporte Público
	gr./ pasajero-kilómetro	gr./ pasajero-kilómetro
PM10	0,73	0,55
CO	8,52	0,22
NO _x	0,98	0,24
COV	0,81	0,06
SO ₂	0,08	0,04

Cuadro 3: Emisiones por pasajero transportado

Fuente: CONAMA: Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana.

Pese a la ventaja social de usar el transporte público, las personas tienen poco incentivo para usarlo. Un automóvil (para el que dispone de uno) es más cómodo y permite un tiempo de viaje menor. A medida que aumente el ingreso, más personas tendrán la posibilidad de comprarse un automóvil, lo que aumentará la congestión y los tiempos de viaje de todas las personas. Además, al existir menos pasajeros de transporte público la frecuencia del mismo disminuye (o aumenta la tarifa), lo que produce un aumento en los tiempos de espera y por lo tanto un aumento en los tiempos de viaje en transporte público (o su costo relativo) redundando finalmente en un transporte público menos atractivo para los usuarios.

1.4 Políticas de transporte urbano en el último decenio

Para enfrentar la congestión y contaminación en Santiago desde 1990 se han estado tomando una serie de acciones y se han propuesto diversos planes. Una de las primeras acciones realizadas para reducir la contaminación y la congestión de las vías fue la restricción vehicular. Esta se aplicó por primera vez en abril de 1987, prohibiendo la circulación del 20% del parque vehicular de buses, taxis y automóviles particulares no catalíticos, sobre la base del último dígito de la patente. [Qué pasa, 1997]. Esta medida se aplicó desde entonces todos los años, aumentando el área de restricción a toda la provincia de Santiago, y ampliando también el período en que se aplicó. A partir del año 2001 se implementa la restricción a los vehículos con convertidor catalítico durante los periodos de emergencia ambiental. El objetivo declarado de la restricción vehicular es disminuir la contaminación del aire e incentivar la compra de vehículos con convertidor catalítico, sin embargo se puede presumir que actualmente también es usada como una herramienta de reducción de la congestión.

Otra de las medidas que ha tenido un fuerte impacto en el transporte de la ciudad es el proyecto SCAT, o de los llamados «semáforos inteligentes», que opera desde 1998 en la mayoría de las intersecciones semaforizadas de Santiago. Se estima que el año de su implementación permitió reducir los tiempos de viaje en un 7,9 % en hora punta y en un 7,6 %, durante el resto del día. [Revista Que Pasa, 1998]

La medida más importante usada para mejorar la operación del transporte público ha sido la licitación de recorridos de buses. Esta es una herramienta técnica y legal que permite a la autoridad administrar el uso de vías cuando esto se justifica por congestión vehicular, problemas ambientales, o seguridad vial [ley 18.696, 1988]. Se han efectuado tres procesos de licitaciones de recorridos en Santiago: en 1992, 1994, y 1998. En cada una de ellas el área regulada se ha ampliado hasta cubrir aproximadamente 270 km². Se ha logrado disminuir la flota de buses operando de 13.500 en 1992 a 9.000 actualmente. Además, se ha logrado renovar en parte la flota logrando un promedio de 4,5 años de edad para los buses licitados. Esta renovación exigió una inversión de más de US\$500 millones, sin subsidios del estado y con tarifas notablemente estables. [Wityk, Dourthé y Malbrán, 1999]

Otro problema ha sido el explosivo aumento del parque de taxis producido por la política de liberalización del sector transporte. En 1984 existían 24.000 taxis y para 1996 el número había aumentado a 50.000. En 1998 el gobierno decidió congelar el número de taxis existentes por dos años. Esta medida fue apoyada por los taxistas pues impedía el ingreso de nuevos competidores al mercado; sin embargo no solucionó el problema del exceso de taxis en circulación y solo evitó que empeorara. El año 2000 se volvió a congelar el parque de taxis, esta vez por cinco años.

También se han desarrollado en el último quinquenio dos planes de transporte. En el año 1995, SECTRA presentó un Plan Maestro de Transporte para el Gran Santiago. En este plan se enumeraban 13 proyectos viales a ser realizados

en la primera etapa entre el año 1995 y el 2000. Estos proyectos se combinaban con proyectos de vías segregadas para la locomoción colectiva, extensiones de la red de Metro y Metro-Tren. Se incluían también en el plan medidas de gestión y económicas en que se destaca la tarificación vial [SECTRA,1995].

El año 2000 se reemplazó el plan de transporte descrito anteriormente por un nuevo plan de transporte urbano, para la ciudad, para el período 2000-2006. Este nuevo plan propuso las siguientes políticas:

- El incentivo del transporte público como medio de transporte principal de la ciudad y la racionalización al uso del automóvil.
- La racionalización de las tendencias de localización de hogares y actividades.
- La reorganización institucional relacionada con el sistema de transporte de la ciudad.
- La asignación de mayor participación y responsabilidad a los actores no gubernamentales involucrados en los temas de ciudad y calidad de vida. Y de igual manera a los ciudadanos en particular.

Además propone como meta principal mantener la actual partición modal de viajes. [SECTRA,2000].

En junio del 2000 se comenzó a aplicar la red vial de emergencia en días que presenten una alta contaminación. Esta medida, que impide el ingreso de vehículos particulares en seis vías de la ciudad, permitió reducir el tiempo promedio de viaje de los usuarios de buses en un 38%, además, pese a lo esperado, no se produjo un aumento significativo de la congestión en las restantes calles de la ciudad. El éxito de esta medida permitió la creación de vías exclusivas para el transporte público en la Alameda.

1.5 Instrumentos Para Mejorar el Transporte.

Existen múltiples instrumentos que buscan mejorar el transporte en una ciudad que se separan generalmente en tres categorías: medidas de regulación, restricciones físicas e instrumentos económicos.

1. Medidas de Regulación: Es el tipo de instrumento más común y son leyes o reglamentos que restringen el comportamiento de los usuarios del sistema de transporte. Las principales medidas de este tipo existentes son:

- Control de estacionamientos.
- Prohibiciones de ingreso.
- Sistemas de gestión de tránsito y prioridad al transporte público.
- Regulaciones al uso de suelo.
- Regulaciones técnicas.

2. Restricciones Físicas: Las restricciones físicas de tráfico implican producir una reducción de la capacidad para reducir el flujo. Es un concepto sencillo y fácil de implementar. Este método produce reducciones de capacidad en vías, intersecciones o redes.

- Celdas de tráfico.
 - Sistemas de aquietamiento y collares de tráfico.
3. Instrumentos Económicos: Los instrumentos económicos buscan cambiar la demanda afectando el costo del uso del transporte. A continuación se presentan las principales medidas de este tipo existentes

- Tarificación vial.
- Cobros a propietarios de vehículos.
- Impuestos a los combustibles.
- Impuesto a los repuestos.
- Cobro por emisiones.
- Cobro por estacionamientos.
- Subsidio modal.

Ante la gran variedad de instrumentos existentes y sus distintos efectos cabe preguntarse cuales de ellos son los mas indicados para una ciudad como Santiago. Para evaluar esto se procedió a escoger cinco instrumentos y se modelaron mediante el modelo de Santiago. El proceso de selección de los instrumentos que serian modelados se basó en la posibilidad de implementación mediante el modelo de Santiago y sus resultados esperados basados en experiencias internacionales y opiniones expertas.

Los instrumentos escogidos son:

- Pistas exclusivas de transporte público
- Tarificación zonal
- Tarificación de cordón
- Cobro de estacionamientos y
- Subsidio al transporte público.

2. El Modelo de Santiago y el modelo de emisiones.

En esta sección se presenta el modelo de Santiago y se explica la implementación del modelo de estimación de emisiones vehiculares.

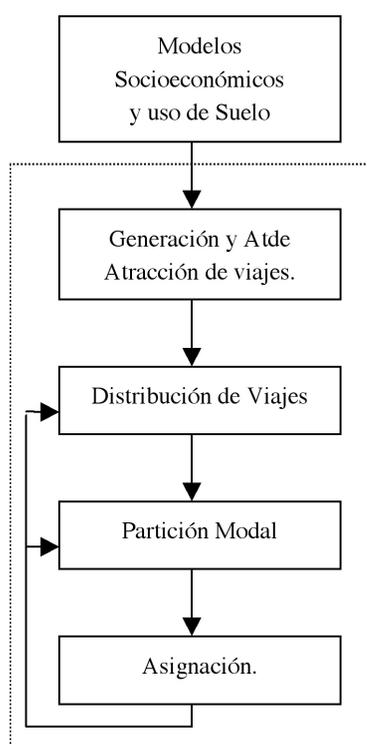
2.1 El modelo de Santiago¹

Para modelar el transporte de Santiago se ha desarrollado un modelo de equilibrio de redes de tráfico de carácter estratégico, denominada Modelo de Santiago,

¹ Para un mayor detalle de la implementación y de la formulación matemática del modelo de Santiago se debe revisar el estudio "Análisis e Implementación de un Modelo de Planificación para la macrozona Central" y el paper "A Multi-Class Multi-Mode Variable Demand Network Equilibrium Model With Hierarchical Logit Structures"

que está basado en la plataforma EMME/2 (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium) que es un modelo de transporte de cuatro etapas creado en la Universidad de Montreal en los años '80. El EMME/2 es un sistema de modelamiento de redes de transporte multimodal, gráfico e interactivo lo que permite un fácil uso; contiene una variedad de herramientas que permite realizar un análisis de los resultados en forma sencilla. Otra de las ventajas de este modelo es la posibilidad de integrar macros al mismo lo que permite personalizar el modelo o la salida de éste. Este modelo de Santiago cuenta con la misma estructura que utiliza ESTRASUS (modelo de transporte estratégico utilizado por la SECTRA) y replica de buena forma sus resultados.

El siguiente diagrama ilustra el proceso tradicional de transporte de 4 etapas:



Etapa 1: Generación y atracción. El primer paso viene dado por el cálculo de los viajes generados y atraídos por cada zona en que se ha dividido la ciudad. En el caso del modelo de Santiago en su situación base del año 1997 cuenta con 256 zonas urbanas y 8 zonas externas. Los vectores de demanda y de atracción se encuentran desagregados en tres categorías de acuerdo al propósito de los viajes (estudio, trabajo y otros).

Etapa 2: Distribución. La distribución de viajes determina hacia donde se dirigen los viajes generados en la etapa anterior. A partir de los vectores de generación y atracción el modelo de distribución construye matrices de viajes. El modelo usado es el modelo gravitacional doblemente acotado para los propósitos Trabajo y Estudio y un modelo acotado a orígenes en el caso del propósito Otros.

Etapa 3:Particion Modal. En esta etapa se determina en que modo de transporte se realizan los viajes determinados con anterioridad y para esto el modelo considera 11 modos de transporte disponibles. Estos modos se presentan en el cuadro siguiente.

Modos privados	Modos públicos	Modos combinados
Caminata	Bus	Autochofer – Metro
Autochofer	Metro	AutoAcompañante - Metro
Auto-Acompañante	Taxicolectivo	
Taxi	Bus-Metro	
	Taxicolectivo-Metro	

Cuadro 4: Modos disponibles en el modelo de Santiago

Fuente: MOP, Análisis y evaluación del sistema de transporte de la prov. de Chacabuco.

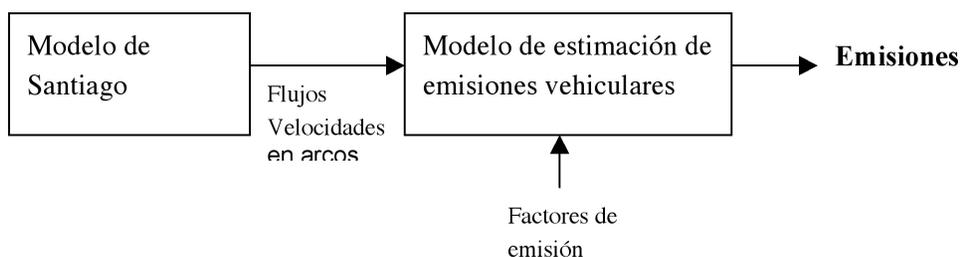
El modelo utilizado para realizar la partición modal es el de utilidad aleatoria, que define una utilidad a cada una de las alternativas existentes y supone que cada usuario eligirá aquella alternativa que aumente su utilidad. Esta elección es realizada mediante modelos logit multinomiales y jerárquicos dependiendo del propósito simulado.

Etapa 4: Asignación de viajes. Permite determinar la ruta escogida para realizar el viaje. A partir de ella se generan los flujos de vehículos livianos que circulan por los arcos y los flujos de pasajeros que ocupan cada línea de transporte público existente. Para el cálculo de la asignación privada (automóviles y taxis) se utiliza el conocido primer principio de Wardrop (La red está en equilibrio cuando ningún usuario puede reducir unilateralmente su tiempo de viaje mediante un cambio de ruta). La asignación de transporte público es realizada bajo el criterio de estrategia óptima para 5 subredes: Bus, metro, taxicolectivo, bus-metro y taxicolectivo-metro. Los usuarios tienen la opción de escoger la línea o combinación de éstas mediante la cual realizarán su viaje, esta elección se basa en aquella opción que permita reducir su tiempo esperado de viaje. Se encuentran implementadas en el modelo 640 líneas bidireccionales de transporte público entre buses y colectivos, estas líneas son fijas para el modelo y no presentan restricción de capacidad.

El equilibrio en el modelo de Santiago se obtiene a través de la solución de desigualdades variacionales que permiten capturar todos los elementos del modelo de una forma integrada. Para la resolución de estas desigualdades se utiliza un algoritmo basado en el método de Gauss-Seidel.

2.2 El Modelo de estimación de emisiones vehiculares (MEEV)

Para estimar las emisiones asociadas a cada uno de los escenarios de transporte fue necesario desarrollar un modelo de estimación de emisiones vehiculares (MEEV) que se acopla a las salidas del modelo de Santiago. La estimación de las emisiones de contaminantes se realiza a partir de la información generada por el modelo de Santiago tal como se muestra en el siguiente esquema.



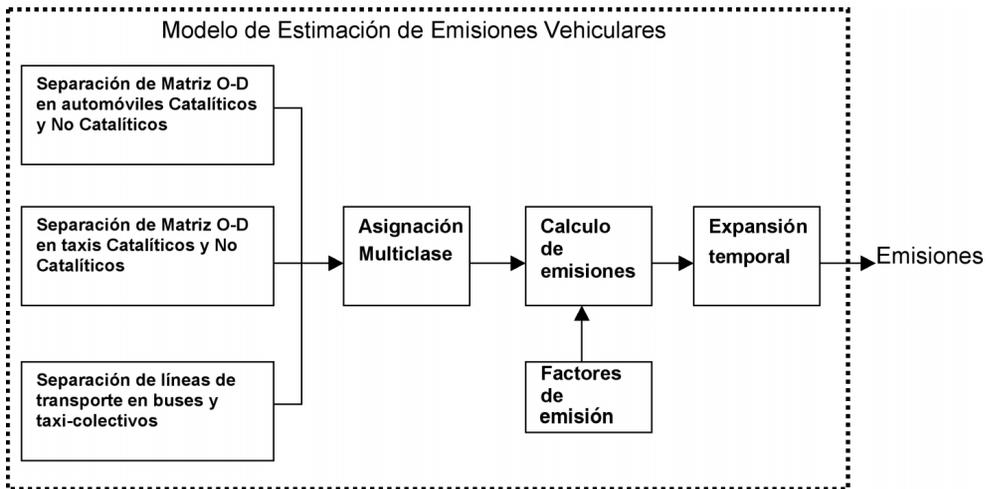
En el MEEV se incorporan los factores de emisión que corresponden a las emisiones de contaminantes atmosféricos que genera cada tipo de vehículo existente en la flota bajo estudio. Estos factores son una función de la velocidad media de desplazamiento de los vehículos, existiendo distintas curvas dependiendo del tipo de vehículo y contaminante. Este modelo de emisiones solo considera las emisiones en caliente y por polvo resuspendido (existen también emisiones por partida en frío y emisiones evaporativas las cuales no fueron consideradas). Los contaminantes que se pueden obtener para cada una de las categorías vehiculares son seis, cuatro de ellos son emisiones directas del tubo de escape y dos son emisiones indirectas (polvo resuspendido):

- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Material particulado respirable directo (PM₁₀).
- Material particulado respirable resuspendido (PM₁₀).
- Material particulado fino resuspendido (PM_{2,5})

Este modelo permite obtener las emisiones de seis categorías de vehículos. Ellas son:

- Automóviles con convertidor catalítico.
- Automóviles sin convertidor catalítico.
- Taxis con convertidor catalítico.
- Taxis sin convertidor catalítico.
- Taxi colectivos.
- Buses

El MEEV fue creado como una macro del modelo de Santiago, por lo tanto se obtiene una sencilla interacción entre el modelo de transporte y el de emisiones. Los pasos que se siguen para obtener las emisiones se pueden apreciar en la siguiente figura y se encuentran detallados a continuación.



1. Separación de las salidas de Autos y Taxis en catalíticos y no catalíticos

El modelo de transporte de Santiago no considera una diferencia entre los automóviles catalíticos y no catalíticos, pero para un modelo de emisiones esta diferencia es fundamental, por esto las matrices origen-destino de los automóviles y taxis se deben separar. Para ello cada matriz origen destino es multiplicada con un vector que contiene la proporción de vehículos catalíticos que tienen como origen cada zona de la ciudad. En la creación de este vector se utilizó la composición de autos y taxis por sector realizados por el DICTUC en jornadas del proyecto DIMEC-CENMA 2000. Con esto se obtiene cuatro matrices Origen-Destino (Matriz O-D Autos Catalíticos, Matriz O-D Autos No Catalíticos, Matriz O-D Taxis Catalíticos y Matriz O-D Taxis NO Catalíticos) en vez de las dos existentes inicialmente.

2. Separación y Calculo del flujo de las líneas de transporte.

En el modelo de transporte de Santiago, el flujo de las líneas de transporte público; es decir, buses y taxicolectivos, se encuentran almacenados en el mismo atributo extra de arco, @trfix. Para calcular en forma separada las emisiones provenientes de estas dos categorías se deben crear nuevos atributos extra, uno que guarde los flujos de todas las líneas de buses y otro que guarde todos los de taxicolectivos.

3. Asignación Multiclase.

Una vez que se han separado las distintas categorías se realiza una asignación multiclase que considere las nuevas matrices origen-destino de automóviles y taxis (debe considerarse que la partición modal no se ve afectada por esta nueva asignación).

4. Aplicación de los factores de emisión.

Una vez hecha la asignación se obtienen los flujos y velocidades sobre el arco para cada categoría considerada. Con esta información se pueden aplicar los factores de emisión obteniéndose las emisiones por categoría durante la hora punta de la mañana.

Los factores de emisión utilizados por este modelo fueron obtenidos a partir de los factores de emisión utilizados en la actualización del inventario de emisiones de

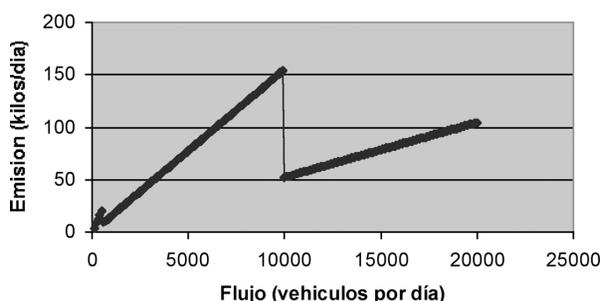
la región metropolitana² y de los factores de emisión usados en el modelo MODEM³. En el caso de los factores de emisión de polvo resuspendido fueron obtenidos a partir de la metodología propuesta por la EPA⁴ y la medición de concentraciones de polvo sobre la superficie de las calles de Santiago realizado por INTEC-Chile en 1994. Estos factores fueron utilizados por la CONAMA en el inventario de emisiones atmosféricas de la región metropolitana [CONAMA 1997]. Los factores de emisión utilizados en el MEEV se encuentran en el anexo.

5. Factores de expansión temporal

Dado que el modelo entrega valores solo para la hora punta de la mañana es necesario aplicar un factor que permita obtener las emisiones diarias en la ciudad. Para esto se construyó un perfil de tráfico diario normalizado con respecto a la hora punta-mañana representativo para la ciudad de Santiago. Al aplicar este factor a las emisiones para la hora punta se puede obtener las emisiones diarias

Al graficar las emisiones de polvo resuspendido versus el flujo (considerando la existencia solo de vehículos con convertidor catalítico) se obtiene el siguiente gráfico:

Emisiones de PM10 resuspendido en arco



Es claro que la existencia de estos dos saltos en el modelo puede producir algunos problemas. Si en algunos arcos se produce una baja del flujo es posible que las emisiones en el modelo aumenten. Esta limitación del modelo de emisiones de polvo resuspendido es conocida y actualmente se está desarrollando una función continua que permita estimar de mejor forma este tipo de emisión. Para permitir el análisis de las emisiones por polvo resuspendido en las medidas modeladas en el presente estudio, se adoptó el criterio que en casos en que el flujo de vehículos en un arco disminuye, respecto a la situación base, y las emisiones de polvo resuspendido en dicho arco aumentarían, se conservará la emisión existente en la situación base.

A continuación se comparan las emisiones obtenidas por los principales modelos de emisiones desarrollados para la ciudad de Santiago con el MEEV. Se observa que pese a su simplicidad llega a valores muy cercanos al MODEM (modelo de emisiones asociado al ESTRAUS)

² Estos factores fueron desarrollados por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile por encargo de la CONAMA. Fueron producidos a partir de mediciones realizadas en sus laboratorios y de factores de emisión de los modelos europeos de emisiones COPERT II y III.

³ Desarrollado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile en el estudio "Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa".

⁴ Ver AP-42, Quinta Edición, Volumen 1, Capítulo 13.

	MODEM ⁶ [Ton/año]	Inventario Emisiones ⁷ [Ton/año]	MEEV ^{8,9} [Ton/año]
CO	113.313	225.346	128.492
COV ¹⁰	11.401	28.332	10.995
Nox	33.155	30.640	25.849
PM10 directo	1.621	2.682	1.269
PM10 resusp.	N/a	28.236	19.770
PM2,5 resusp.	N/a	N/a	4.728

Cuadro 5: Comparación Emisiones anuales por fuentes móviles año 1997

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de las fuentes citadas.

3. Resultado de la implementación de medidas de transporte.

Mediante el modelo de Santiago y el MEEV se evalúa el impacto ambiental y económico de implementar los instrumentos de transporte seleccionados. A continuación se presentan los principales resultados.

3.1 Pistas exclusivas para transporte público

Se aplicaron vías exclusivas para el transporte público (buses y colectivos) en las mismas calles en que hoy se aplican las vías exclusivas durante periodos de emergencia¹¹. El modelo de Santiago en su situación base de 1997 ya considera la existencia de vías exclusivas en Irarrázaval y en Santa Rosa.

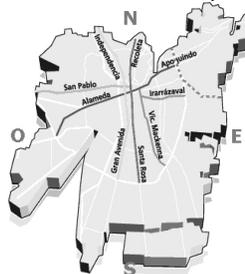


Figura 1: Vías Exclusivas y tarificación oriente.

⁵ Si las emisiones totales de polvo PM10 resuspendido en el escenario Vías exclusivas es 66.733 [kilos/día] al ajustar de acuerdo al criterio mencionado se obtiene una emisión de 61.876 [kilos/día].

⁶ Departamento Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile (2000), Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa.

⁷ Conama (1997), Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005.

⁸ Schmidt Claudio (2000), Desarrollo de un Modelo de Cuantificación de Emisiones en Caliente para Fuentes móviles en Santiago.

⁹ Estas emisiones son levemente distintas a las emisiones consideradas como situación base en el presente estudio.

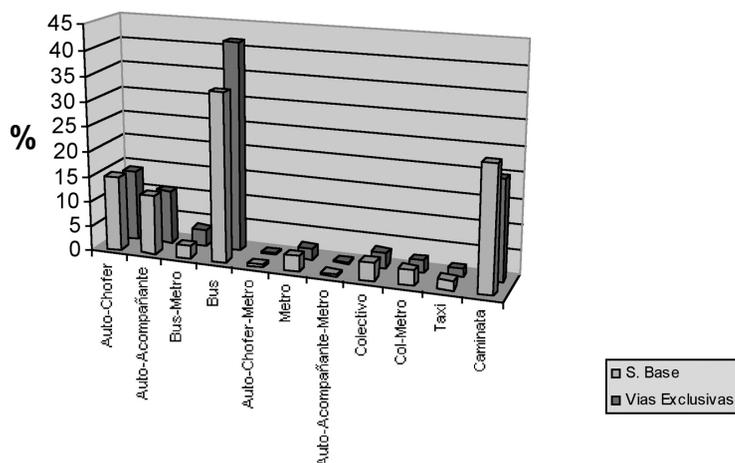
¹⁰ MODEM y MEEV solo consideran los Hidrocarburos totales (HC) como Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), el inventario de emisiones considera además de las emisiones por tubo de escape las emisiones evaporativas.

¹¹ Eje Norte sur 1: Independencia, Teatinos/Bandera, Nataniel/San Diego y Gran Avenida. Eje Norte Sur 2: Recoleta, San Antonio/MacIver, San Fco./Santa Rosa, Santa Rosa.
Eje Norte Sur 3: Vicuña Mackenna
Eje Oriente Poniente 1: Pajaritos, Alameda, Providencia /11 de Sept. y Apoquindo
Eje Oriente Poniente 2: San Pablo.
Eje Oriente Poniente 3: Irarrázaval.

a) Partición Modal

La partición modal de cada modo de transporte obtenida al aplicar las vías exclusivas se presenta en el siguiente gráfico.

Figura 2: Partición modal Caso Vías exclusivas



Al analizar la partición modal es claro el aumento en el uso del bus, tanto en el modo bus, como en el modo combinado bus- Metro. En ambos casos el número de viajes sube en un 25% y un 40% respectivamente con respecto a la situación base. En este caso llama la atención también la disminución de la partición modal de los taxis colectivos, los que en este modelo comparten las vías exclusivas con los buses y por lo tanto se podría esperar que también vieran aumentada su partición modal. Esto se puede explicar ya que la mayoría de las líneas de colectivos funcionan en lugares en que no existen vías exclusivas. Pese a que existe una disminución importante en la partición modal del modo metro, los viajes en este medio no disminuyen ya que aumentan los usuarios del modo bus-metro.

Al analizar los viajes realizados en modo Bus se aprecia un aumento muy importante en los viajes más largos (Oriente-Poniente, Norte-Sur y viceversa) lo que reafirma el efecto del aumento de la distancia de los viajes. Pese al importante aumento en el número de viajes en el modo bus, existe una reducción de los tiempos totales de viaje en bus. Esto se explica principalmente por la existencia de las vías exclusivas las cuales permiten disminuir los tiempos de cada viaje en bus.

El tiempo total de los usuarios del modo auto se reduce en un 14,7%. Esta reducción se explica por dos motivos: la disminución de la congestión y la disminución de los viajes en automóvil que disminuyeron de 256.129 [viajes] en la situación base a 238.228 [viajes] en el caso de vías exclusivas.

b) Emisiones

En el siguiente cuadro se presentan las emisiones diarias totales de los contaminantes estudiados y su diferencia porcentual para cada modo con respecto a la situación base. Se puede apreciar que las principales reducciones de emisiones se producen en las emisiones directas tanto de gases (casi 10%) como Pm-10 (7.5%). Las reducciones más importantes de emisiones corresponden a las de automóviles, tanto catalíticos como no catalíticos.

Contaminante	Total emisiones (Kilos – Día)									Reducción porcentual Total
	Situación Base	vías exclusivas	Diferencia (%)						Cat 6 Buses	
			Cat 1: Autos Cat.	Cat 2: Autos No. Cat.	Cat 3: Taxis Cat.	Cat 4: Taxis No. Cat.	Cat 5: No. Colect.			
CO	446123	403137	-7,9	-9,9	-13,3	-14,4	-3,8	-7,9	-9,6	
HC	39865	35991	-7,8	-9,3	-13,6	-13,8	-4,1	-12,0	-9,7	
PM10 directo	5270	4875	-6,2	-7,1	-13,7	-13,7	0,0	-7,7	-7,5	
Nox	104797	98385	-6,4	-7,2	-13,8	-14,0	-19,8	-4,9	-6,1	
PM 2,5 resuspendido	15246	14796	-4,6	-5,1	-12,8	-12,8	-2,2	-2,2	-2,9	
PM 10 resuspendido	63755	61876	-4,6	-5,1	-12,8	-12,8	-2,2	-2,2	-2,9	

Cuadro 6: Emisiones por categoría, caso vías exclusivas.

Fuente: Elaboración Propia

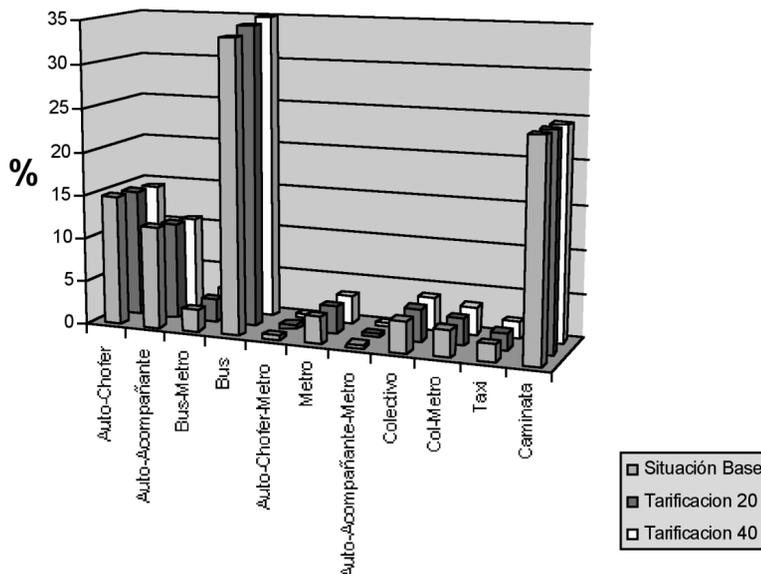
Las diferencias de emisiones directas que se aprecian en la categoría bus se deben solamente al aumento de las velocidades de circulación ya que la cantidad de kilómetros recorridos y el número de buses se mantiene constante con respecto a la situación base.

3.2 Tarifación Zona Oriente

Una segunda opción evaluada es la tarifación de cordón, lo que implica cobrar a cualquier automóvil que desee ingresar o salir de la zona oriente de Santiago. Para esto se definió un cordón sobre la Avenida Américo Vespucio, Avenida Tobalaba y Avenida Larrain (ver figura 1, el cordón esta representado con una línea segmentada). Debido a que el modelo de Santiago no acepta realizar cobros en forma directa se decidió aplicar una demora en los arcos la que actuaría en forma equivalente al cobro de un peaje. Se consideran dos casos, tarifificar el equivalente a 20 minutos de demora para los automovilistas y tarifificar el equivalente a 40 minutos adicionales.

a) Partición Modal

Figura 3: Partición Modal Caso tarifacion Oriente



El impacto de la tarificación se observa en la figura 3. Mientras mayor es la tarifa, menor es el número de automóviles y taxis circulando, aumentando la participación modal de los buses. Sin embargo, ninguno de estos efectos es muy importante debido principalmente a lo restringido del lugar en donde se aplica la medida.

El sentido en que varían las particiones modales es el mismo en ambos cobros, la diferencia es que en el caso de 40 minutos, los efectos son mayores. Además, existe una disminución de los viajes entre las distintas zonas de la ciudad y un aumento de los viajes al interior de la zona oriente. En esta zona, los viajes que entran y salen, disminuyen aproximadamente un 10% mientras que los viajes que se producen al interior de la zona, aumentan en un 12,3 %. El número de automóviles y taxis que pagan la tarifa durante la hora punta-mañana en el caso de la tarifa de 20 minutos es de 31.243 vehículos y en el caso de la tarifa de 40 minutos son 20.888 vehículos. Los buses absorben la mayoría de los viajes que ya no se realizan en automóvil.

b) Emisiones

A continuación se presentan las emisiones diarias de los contaminantes estudiados y su diferencia porcentual para 6 modos de transporte con respecto a la situación base.

Contaminante	Total emisiones (Kilos - Día)		Diferencia(%)						Reducción Porcentual Total
	Situación Base	Tarificación Oriente	Cat 1: Autos Cat.	Cat 2: Autos No. Cat.	Cat 3: Taxis Cat.	Cat 4: Taxis No Cat.	Cat 5: Colect.	Cat 6: Buses	
Escenario: Tarificación Oriente 20 minutos									
CO	446123	411431	-8.9	-8.1	-9.7	-8.3	-2.4	-3.4	-7.8
HC	39865	37161	-8.6	-7.3	-8.4	-7.4	-2.1	-4.9	-6.8
PM10 directo	5270	5072	-5.8	-4.8	-5.5	-4.9	0.0	-3.3	-3.8
Nox	104797	101277	-6.2	-4.7	-5.7	-4.6	-0.6	-2.3	-3.4
PM 2,5 resuspendido	15246	14797	-4.1	-3.4	-3.7	-1.7	-3.4	-2.6	-2.9
PM 10 resuspendido	63755	61879	-4.1	-3.4	-3.4	-3.1	-3.4	-2.6	-2.9
Escenario: Tarificación Oriente 40 minutos									
CO	446123	397210	-13.0	-11.4	-13.4	-11.5	-3.2	-4.5	-11.0
HC	39865	36030	-12.6	-10.5	-11.8	-10.3	-2.8	-6.3	-9.6
PM10 directo	5270	4994	-9.2	-7.4	-7.7	-6.9	0.0	-4.4	-5.2
Nox	104797	99691	-9.6	-7.3	-8.0	-6.5	-0.7	-3.0	-4.9
PM 2,5 resuspendido	15246	14620	-6.3	-5.0	-4.3	-4.6	-4.0	-3.5	-4.1
PM 10 resuspendido	63755	61132	-6.3	-5.1	-4.5	-3.8	-4.0	-3.5	-4.1

Cuadro 7: Emisiones de contaminantes, Casos de tarificación Oriente
Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar las reducciones de los dos casos estudiados se ve que los dos muestran patrones de reducción similares pero el caso de tarificación de 40 minutos las reducciones son mayores en aproximadamente un 50%. La aplicación de la tarificación de cordón en la zona oriente 40 minutos reduce las emisiones totales de monóxido de carbono en un 11% y en el PM10 directo en un 5.2%. Aunque éstas

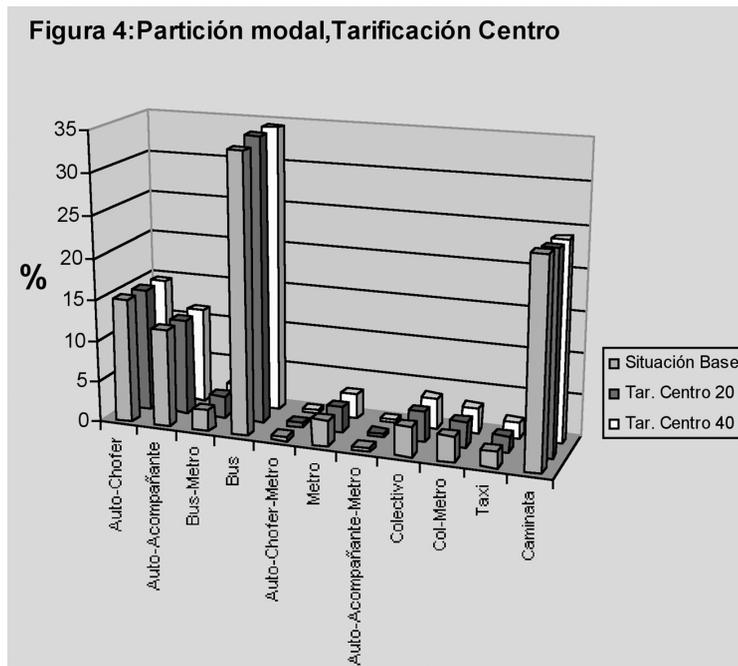
no son tan altas como en el caso de las vías exclusivas, son reducciones importantes si se considera lo reducido del área que se tarifica.

Se puede apreciar además que las emisiones de los vehículos con convertidor catalíticos disminuyen más que las de los vehículos que no tienen convertidor catalítico (en el caso del CO la reducción es de un 8,9 y 8,1 respectivamente). Esto se debe a que en la zona oriente existe una mayor proporción de vehículos con convertidor y por lo tanto éstos se ven mas afectados por la tarificación de cordón en la zona. Se podría esperar por lo tanto que de aplicarse una tarificación de cordón en una zona en que existen más vehículos sin convertidor catalítico las emisiones deberían reducirse aún más. Las disminuciones de emisiones directas de los buses y colectivos se producen por un aumento en la velocidad de circulación debido a una disminución en la congestión ya que los recorridos y frecuencias no se ven afectados con respecto a la situación base.

3.3 Tarificación Zona Centro

Se estudió el caso de una tarificación de área que se aplica a los vehículos particulares (automóviles y taxis) que desean entrar a la zona centro de Santiago (Alameda por el Sur, Norte-Sur por el poniente y Costanera por el Norte). Al igual que en el caso de tarificación de cordón en la zona oriente se estudiaron dos casos, aplicar una tarifa equivalente a 20 minutos de demora extra para los automovilistas y una tarifa equivalente a una demora de 40 minutos.

a) Partición Modal



El efecto de esta medida sobre la partición modal es bastante baja, solo se ve una disminución pequeña en la partición modal del automóvil y un aumento en el uso del bus y del colectivo.

Existe un aumento de los viajes totales que vienen desde el poniente y el norte que tienen como destino la zona centro. Esto se debe a la disminución de la congestión y la disminución de los tiempos de viaje que son aprovechados por los buses los que no tienen que pagar tarifa. El bus es el modo que absorbe la mayoría de los viajes que ya no se realizan en automóvil debido a la aplicación de la tarificación. El número de automóviles y taxis que pagan la tarifa durante la hora punta mañana en el caso de la tarifa de 20 minutos es de 9.541 y en el caso de la tarifa de 40 minutos son 6.061 vehículos.

b) Emisiones

El siguiente cuadro presenta las emisiones diarias totales de los seis contaminantes estudiados y su diferencia porcentual con respecto a la situación base. La reducción de las emisiones en el caso de la tarificación de 40 minutos son algo menores al 50% al compararlas con la tarificación de 20 minutos.

Las emisiones totales en el caso de tarificación de 40 minutos se reducen en un 5,3% en el caso de monóxido de carbono y un 2,8% en el caso de PM10 directo. Esto no es una reducción significativa, pero lo pequeño del área en que se aplica la medida hace pensar que de aplicarse en otras áreas dentro de la ciudad podrían obtenerse importantes reducciones en las emisiones. Además cabe destacar las reducciones de emisiones del modo taxi (9,3% para el CO en taxis catalíticos). En este caso, a diferencia de la tarificación en la zona oriente, los vehículos catalíticos y no catalíticos disminuyen sus emisiones en forma similar pues se afecta igualmente a todas las zonas de Santiago.

Contaminante	Total emisiones (Kilos - Día)		Diferencia (%)						Reducción Porcentual Total
	Situación Base	Tarificación Centro	Cat 1: Autos Cat.	Cat 2: Autos No. Cat.	Cat 3: Taxis Cat.	Cat 4: Taxis No Cat.	Cat 5: Colect.	Cat 6: Buses	
Escenario: Tarificación Centro 20 minutos									
CO	446123	428721	-3.7	-4.0	-7.9	-7.0	-0.5	-1.5	-3.9
HC	39865	38540	-3.4	-3.4	-5.7	-5.4	-1.2	-3.0	-3.3
PM 10 directo	5270	5097	-5.6	1.8	-5.7	-5.4	-1.2	-2.8	-3.3
Nox	104797	103168	-2.0	-1.7	-3.8	-3.3	-0.7	-1.4	-1.6
PM 2,5 resuspendido	15246	15046	-1.6	-1.6	-3.7	-4.6	-0.2	-0.4	-1.3
PM 10 resuspendido	63755	62921	-1.6	-1.6	-3.7	-3.8	-0.2	-0.4	-1.3
Escenario: Tarificación Centro 40 minutos									
CO	446123	422386	-5.2	-5.4	-9.3	-8.4	-1.9	-3.0	-5.3
HC	39865	37984	-4.8	-4.8	-8.0	-7.6	-1.8	-4.4	-4.7
PM 10 directo	5270	5121	-2.5	-2.5	-5.0	-4.9	0.0	-2.9	-2.8
Nox	104797	102517	-2.7	-2.3	-5.2	-4.5	-0.7	-2.0	-2.2
PM 2,5 resuspendido	15246	14913	-6.3	-5.0	-4.3	-4.6	-0.8	-0.9	-2.2
PM 10 resuspendido	63755	62359	-6.3	-5.1	-4.5	-3.8	-0.8	-0.9	-2.2

Cuadro 8: Emisiones de contaminantes, Casos de tarificación Zona Centro

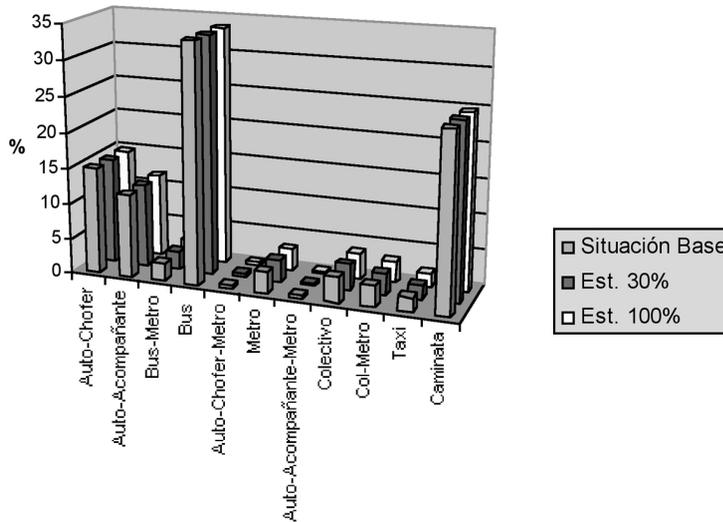
Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Cobro Estacionamientos

El cuarto instrumento modelado corresponde a un aumento de los costos de estacionamiento en el sector centro de la comuna de Santiago y en Providencia. Con esta medida se busca reducir el número de viajes en vehículo particular. Se aplicaron dos aumentos en los costos de estacionamientos existentes: 30% y 100% .

a) Partición Modal

Figura 5: Partición Modal, Estacionamientos



El efecto de esta medida sobre la partición modal es despreciable, el uso del automóvil baja muy poco y el uso del bus sube un poco, pero no es nada llamativo. Los cambios de destino en los viajes totales no son significativos, solo se puede mencionar el aumento de los viajes desde el oriente al norte ya que muchos usuarios no cambian de modo y prefieren cambiar su lugar de destino a una zona en donde no deban pagar por estacionar.

Los viajes que se realizan en taxi aumentan levemente, pues absorben algunos de los viajes que anteriormente se realizaban en automóvil ya que el taxi permite los mismos tiempos de viaje que el automóvil y no paga por estacionamiento.

b) Emisiones

Tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro, el efecto sobre las emisiones vehiculares de esta medida es muy bajo. Esto se debe al bajo impacto general sobre variables de transporte de la medida. La principal reducción de las emisiones totales es del CO que se reduce en un 2,5%. La disminución más notoria de la emisión de contaminantes está en el caso de los automóviles pues ellos son los únicos afectados directamente por el encarecimiento del costo de estacionamiento; el resto de los modos solo se ve afectado por cambios de modo y cambios en el flujo. Existe un aumento de las emisiones de PM10, NOx y polvo resuspendido de los taxis ya que se producen más viajes en este medio que no debe pagar estacionamiento.

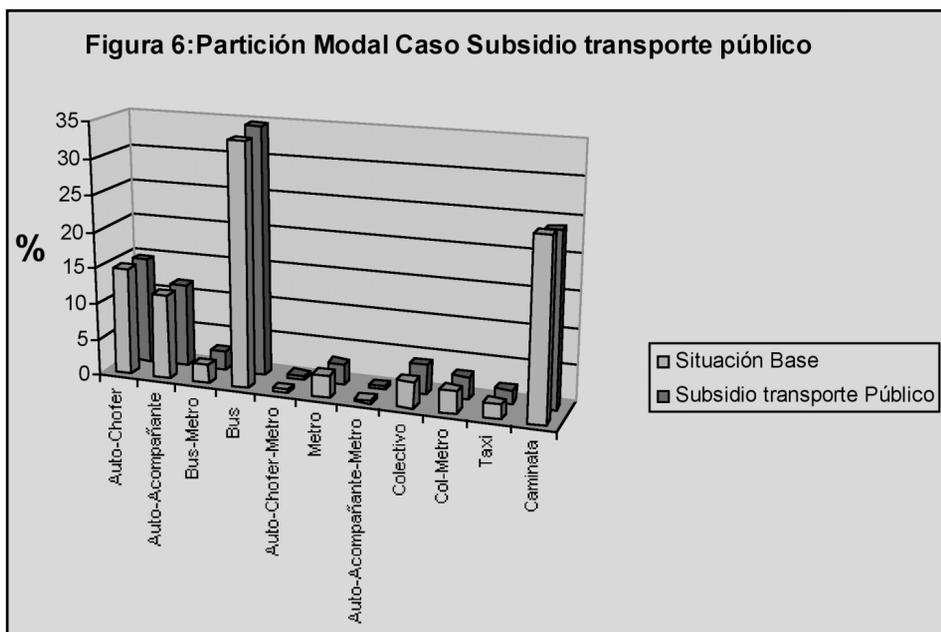
Contaminante	Total emisiones (Kilos - Día)		Diferencia (%)						Reducción Porcentual Total
	Situación Base	Cobro Estacionamientos	Cat 1: Autos Cat.	Cat 2: Autos No. Cat.	Cat 3: Taxis Cat.	Cat 4: Taxis No Cat.	Cat 5: Colect.	Cat 6: Buses	
Escenario: Aumento Cobro estacionamiento 30%.									
CO	446123	434798	-2.7	-2.8	-1.3	-0.9	-0.8	-1.2	-2.5
HC	39865	38956	-2.4	-2.3	-0.6	-0.7	-0.8	-2.0	-2.3
PM 10 directo	5270	5206	-1.5	-1.5	0.0	0.1	0.0	-1.1	-1.2
Nox	104797	103742	-1.6	-1.4	0.0	0.3	-0.7	-0.8	-1.0
PM 2,5 suspendido	15246	15191	-1.2	-1.1	0.4	1.3	-0.1	-0.1	-0.4
PM 10 suspendido	63755	63521	-1.2	-1.2	0.3	0.5	-0.1	-0.1	-0.4
Escenario: Aumento Cobro estacionamiento 100%.									
CO	446123	432288	-3.4	-3.4	-1.4	-0.7	-0.9	-1.7	-3.1
HC	39865	38730	-3.1	-3.1	-0.8	-0.5	-0.9	-2.5	-2.8
PM 10 directo	5270	5181	-1.9	-1.9	0.5	0.6	0.0	-1.7	-1.7
Nox	104797	103420	-2.0	-1.7	0.4	0.9	-0.7	-1.1	-1.3
PM 2,5 suspendido	15246	15211	-1.3	-1.2	1.0	1.3	-0.1	0.1	-0.2
PM 10 suspendido	63755	63607	-1.3	-1.2	0.9	1.2	-0.1	0.1	-0.2

Cuadro 9: Emisiones de contaminantes, Casos cobro estacionamientos
Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Subsidio al Transporte Público

La ultima medida estudiada es aplicar un subsidio a las tarifas del transporte público (metro, bus y colectivo) con el objetivo de hacer más atractivo el transporte público. Para esto se asume un subsidio que reduce en 50% las tarifas cobradas a los usuarios de transporte público.

a) Partición Modal



Sorprendentemente, el efecto de esta medida sobre la partición modal es baja. El uso del automóvil baja desde un 14,9% a un 14,7%, mientras que el uso del bus sube de un 33,5% a un 34,5%, los viajes a pie disminuyen ya que gracias a la menor tarifa es posible que las personas usen bus para trayectos cortos. Existe un aumento de los viajes que se realizan en automóvil entre la zona Norte y Oriente de la ciudad. La mayoría de los otros viajes entre las zonas de la ciudad disminuyen levemente. Se puede concluir que la tarifa del transporte público tiene un peso relativamente menor frente a los tiempos de viaje de los usuarios.

b) Emisiones

En el siguiente cuadro se presenta la disminución de la emisión de contaminantes al aplicar un subsidio al transporte público. Se puede apreciar que pese a la baja variación en la partición modal se produce una disminución de las emisiones especialmente de los automóviles y taxis. La principal reducción de emisiones existente es la del monóxido de carbono que baja en un 4,4% en total. Parte importante de esta reducción se debe a la reducción de las emisiones de los vehículos sin convertidor catalítico que bajan en un 4,7%. Las emisiones totales de PM10 directo bajan un poco significativo 2,1%.

Contaminante	Total emisiones (Kilos - Día)		Diferencia (%)						Reducción Porcentual Total
	Situación Base	Subsidio Tte. Público	Cat 1: Autos Cat.	Cat 2: Autos No. Cat.	Cat 3: Taxis Cat.	Cat 4: Taxis No Cat.	Cat 5: Colect.	Cat 6: Buses	
CO	446123	426639	-4.3	-4.7	-4.4	-3.7	-1.4	-2.2	-4.4
HC	39865	38315	-4.0	-4.2	-3.6	-3.3	-1.4	-3.2	-3.9
PM10 directo	5270	5138	-2.1	-2.3	-1.8	-1.8	0.0	-2.1	-2.1
Nox	104797	103055	-2.3	-2.1	-1.9	-1.4	-0.5	-1.4	-1.7
PM 2,5 resuspendido	15246	15170	-1.3	-1.4	-0.8	-1.7	-0.4	-0.2	-0.5
PM 10 resuspendido	63755	63438	-1.3	-1.4	-1.1	-0.9	-0.4	-0.2	-0.5

Cuadro 10.: Emisión de contaminantes, Caso subsidio transporte público

Fuente: Elaboración Propia

4. Evaluación económica

La evaluación económica se realiza comparando las diversas alternativas con la situación base como referencia. En algunos casos la valoración social deberá ser estimada por el margen de la demanda del recurso (disponibilidad a pagar, eventualmente corregida por factores de equidad que consideran distribución de ingreso) y en otros por el margen de la oferta (costos de producción menos transferencias).

Los beneficios económicos de cada alternativa se pueden clasificar en tres grandes categorías:

- Ahorros de tiempos de los usuarios del sistema de transporte de la ciudad, se consideran también los tiempos de los usuarios que usan el modo caminata.

- Consumo de Combustible.
- Costos de operación de los vehículos, los cuales consideran consumo de combustible y otros costos de operación de los vehículos (Lubricantes, Neumáticos, Depreciación de los vehículos, Mantenimiento)

La presente evaluación económica se realiza para un día tipo en Santiago y sólo considerará un corte temporal el año 1997. Tampoco se consideran en la evaluación los costos de implementar las medidas propuestas. Los montos están expresados en pesos del 2001.

En el anexo se presentan los tiempos de viaje y las distancias recorridas para cada una de las alternativas estudiadas y para cada modo existente.

En el cuadro 11 se presentan los costos estimados expresados en pesos de diciembre del año 2000 para todos los escenarios. Se aprecia que existen aumentos de costos en dos casos aumento del cobro de estacionamientos en un 30% y en el caso de aplicación de un subsidio al transporte público.

	Sit. Base	Vías Exclusiva	T.Oriente 20	T.Oriente 40	T.Centro 20	T.Centro 40	Estac. 30%	Estac. 100%	Subsidio
	[miles \$]								
Tiempo	8902291	6952469	8990337	8939568	8917238	8857926	8965464	8934540	9053928
Combustible	926486	869138	875956	852114	904898	895481	911113	907131	902280
Costo Operacional	2634956	2474351	2510355	2441484	2590466	2573951	2602371	2596268	2585794
Total	12463732	10295958	12376648	12233167	12412602	12327358	12478948	12437938	12542002
Ahorro Diario		-2.167.774	-87.084	-230.566	-51.131	-136.374	15.216	-25.794	78.270

Cuadro 11: Resumen de Costos de alternativas estudiadas.

Fuente: Elaboración Propia.

En el siguiente gráfico se presentan las variaciones porcentuales de los costos y de las emisiones de material particulado PM10 directo¹² para cada uno de los escenarios. Pese a que no todos los escenarios presentan una reducción en los costos asociados con respecto a la situación base las emisiones de PM10 directo si disminuyen en todos los casos. Claramente el mejor instrumento existente es el de vías exclusivas que, gracias a la disminución de los tiempos de viaje, presenta una importante reducción de los costos asociados al transporte y además permite una reducción de las emisiones de PM10 directo de aproximadamente un 7,5%. La tarificación oriente (40 minutos) también reduce las emisiones totales de manera significativa al igual que los costos de transporte.

¹² Se utilizan las emisiones directas ya que se estima que su cálculo es más cercano a la realidad que el de emisiones de polvo resuspendido.

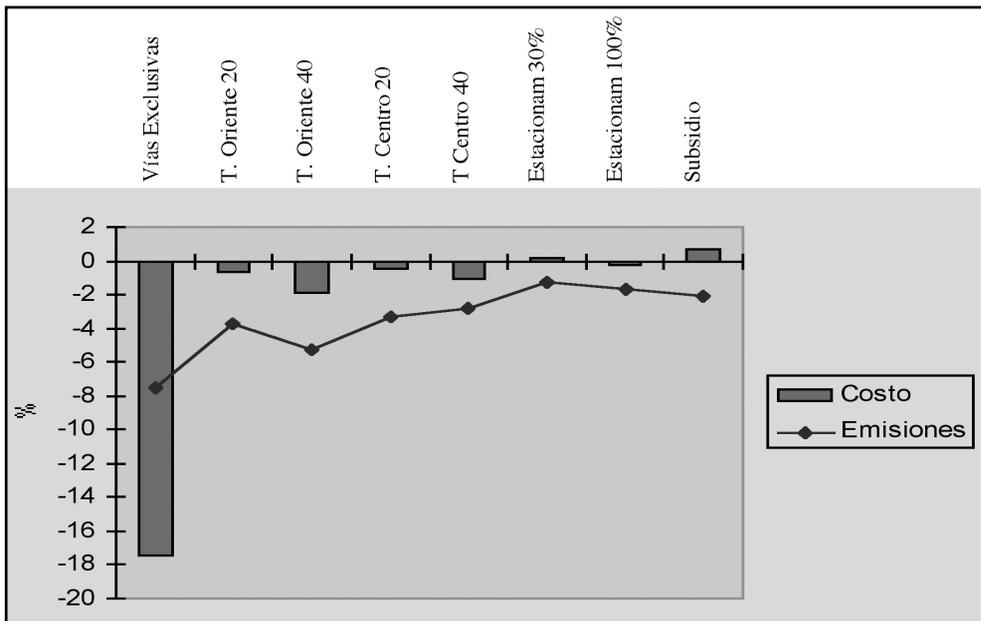


Figura 7: Variación de costos totales de transporte y emisiones de PM10 directo

Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

El creciente uso del automóvil en Santiago provoca fuertes impactos sobre el medio ambiente y sobre la congestión. Al evaluar 5 medidas de transporte que buscan desincentivar el uso del automóvil particular o incentivar el transporte público se concluye que es posible lograr varias situaciones «win-win» donde se reducen tanto la contaminación como los costos sociales asociados al transporte.

De las cinco medidas consideradas, las vías exclusivas para el transporte público resulta ser la mejor opción: es la que mayores reducciones de costo de transporte y emisiones permite. Por cierto, en la evaluación realizada no se incluyen los costos de implementar ésta, pero se estima que ellas no son significativas comparadas con los beneficios (reducción de costos) que se obtienen.

En efecto, al disminuir en forma importante los tiempos de viaje de los usuarios de buses se obtiene un gran beneficio social y además se incentiva a usuarios de automóviles particulares a cambiar su modo de transporte, lo que permite reducir las emisiones. El aumento de las velocidades medias del transporte colectivo resulta también en una importante reducción en las emisiones. Esta podría ser aún mayor si junto a la implementación de vías exclusivas se aplicara una medida que incentive un cambio tecnológico en buses hacia vehículos menos contaminantes.

Pese a lo pequeño de las zonas tarifcadas que se evalúan, tanto en el centro de la ciudad como en la zona oriente, se obtuvieron reducciones tanto de los costos como de las emisiones. Sin embargo resulta difícil pensar que una medida de este tipo pueda ser aceptada si no se combina con una mejora en el transporte público para las personas afectadas.

El cobro de estacionamientos en las zonas céntricas de la ciudad solo produce que muchos viajes en automóvil cambien su destino desde la zona centro a las zonas periféricas de la ciudad y podría significar en el largo plazo un traslado de oficinas a las zonas periféricas de la ciudad lo que agravaría aún mas el problema del transporte en la ciudad.

La aplicación del subsidio al transporte público resulta en un aumento en los costos sociales ya que las personas que se cambian desde el transporte privado al público ven incrementados sus tiempos de viaje debido a que los buses y colectivos siguen siendo afectados por la congestión.

Se puede concluir de este análisis que las medidas de transporte que se tomen en la ciudad deben ser enfocadas a reducir los tiempos de viaje y a mejorar la calidad del transporte público de la ciudad, ya que esto permitirá reducir el uso del automóvil especialmente en horas de mayor congestión. Si las medidas que entregan facilidades al transporte público son acompañadas con mejoras en las tecnologías de los vehículos de transporte público, se podría esperar una mayor reducción de las emisiones que las obtenidas en el presente estudio.

Referencias

1. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe – CEPAL (1999), Desarrollo histórico y aceptación política del concepto de cobranza por el uso de la vialidad urbana congestionada.
2. CONAMA (1997), Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la ciudad de Santiago.
3. CONAMA (1997), Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005.
4. Departamento Ingeniería Mecánica Universidad de Chile (2000), Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa.
5. Florian Michel, Jia Hao Wu, Shuguang He (1999), A Multi-Class Multi-Mode Variable Demand Network Equilibrium Model With Hierarchical Logit Structures, Actas del IX Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.
6. Jara-Díaz Sergio, Gschwender Antonio (1997), Tarifas Optimas en transporte Programado, Actas del VIII Congreso de transporte.
7. Ley 18.696, Diario Oficial 31 de Marzo de 1988.
8. Malbrán Henry, Dourthé Antonio y Wityk Mónica (1999), Regulación del transporte Público de Superficie: La experiencia de Santiago de Chile, Secretaría Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones Región Metropolitana.

9. Ministerio de Obras Públicas, Análisis e Implementación de un Modelo de Planificación para la macrozona Central.
10. Ministerio de Obras Públicas (2001), Estudio Análisis y evaluación del sistema de transporte de la Provincia de Chacabuco.
11. Revista Qué Pasa, 11 de Agosto de 1997
12. Schmidt Claudio (2000), Desarrollo de un Modelo de Cuantificación de Emisiones en Caliente para Fuentes móviles en Santiago.
13. SECTRA (1991), Encuesta Origen Destino de Viajes en la Gran Santiago 1991, Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte.
14. SECTRA (1995), Plan de Desarrollo del Sistema de Transporte Urbano Gran Santiago 1995-2010.
15. SECTRA (1998), Diagnóstico y Recolección de Información de Educación Bajo la Perspectiva del Transporte.
16. SECTRA (2000), Resumen Ejecutivo Plan de Transporte Urbano Santiago 2000 – 2006.
17. United Nations Centre for human Settlements (1995), Economic instruments and regulatory measures for the demand management of urban transport.
18. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1995), AP-42, Volume I, Fifth Edition.
19. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1997), Opportunities to improve air quality through transportation pricing programs.
20. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1997), Opportunities to Improve Air Quality through Transportation Pricing Programs.
21. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1998), Technical Methods for Analyzing Pricing Measures to Reduce Transportation Emissions.
22. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1998), Transportation Control Measures: Parking Management.
23. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1998), Transportation Control Measures: Parking Prices.
24. Valenzuela Eduardo y Gálvez Tristán, Identificación de las Externalidades Generadas por el estacionamiento de Automóviles en Zonas Urbanas.
25. World Bank Urban Transport Strategy Review (2000), Cities on the Move.

Anexos

Factores de emisión del MEEV.		
Categoría Vehicular	Contaminante	Factor de emisión [gr / veh-km]
Autos Catalíticos	CO	$2,98938E-10 * V^6 - 1,05953E-7 * V^5 + 1,49173E-5 * V^4 - 0,00106272 * V^3 + 0,04066782 * V^2 - 0,8177322 * V + 8,44435181$
	HC	$1,24772E-11 * V^6 - 4,43954E-9 * V^5 + 6,28695E-7 * V^4 - 4,52144E-5 * V^3 + 0,00177836 * V^2 - 0,03870003 * V + 0,499894494$
	Nox	$2,4160E-6 V^3 - 0,0002L883 V^2 + 0,00411152 V + 0,4980868$
	PM10 Directo	0.01
Autos No Catalíticos	CO	$0,01758682V^2 - 2,045571 V + 71,83850394$
	HC	$1,40382E- 10 V^6 - 5,00032E-8 V^5 + 7,09246E-6 V^4 - 0,00051142 V^3 + 0,02009924V^2 - 0,44908158V + 6,5391212$
	NOx	$4,33681 E-19V^4 + 1,05343E-V^3 - 0,00163508V^2 + 0,0681732V - 1,3536333$
	PM10 Directo	0,09106
Taxis Catalíticos	CO	$28,884 * V^{-0,8384}$
	HC	$1,1851 * V^{-0,616}$
	NOx	$4E-6 V^3 - 0,0004 V^2 + 0,0104 V + 0,5047$
	PM10 Directo	0.01
Taxis No Catalíticos	CO	$0,0203 V^2 - 2,2662 V + 77,661$
	HC	$11,589 - V^{-0,5595}$
	NOx	$1,49E-5V^3 - 0,00235V^2 + 0,0997V + 1,111$
	PM10 Directo	0.06
Taxis Colectivos	CO	$1,31215E-9 V^6 - 3,78747E-7 V^5 + 4,36376E- 5 V^4 - 0,00256235V^3 + 0,08465345 V^2 - 1,74268965 V + 24,314706$
	HC	$2,923935 * V^{-0,5763}$
	Nox	$-5,27356 E-16 V^4 + 5,8312220 E-6 V^3 - 0,0007276V^2 + 0,0254024 V + 0,6065583$
	PM10 Directo	0,01840
Buses	CO	$42,931936 * V^{-0,7491}$
	HC	$37,473183 * V^{-1,0196}$
	Nox	$72,713992 * V^{-0,5230}$
	PM10 Directo	$8,011584 * V^{-0,7361}$

Fuente: Schmidt Claudio (2000).

Factores de emisión de polvo resuspendido.				
Categoría Vehicular	Contaminante Flujos diarios:	Factor de emisión [gr. / veh-km]		
		F< 500	500<F<10000	F>10.000
Autos Catalíticos	PM 10	2,69104	1,02630	0,34572
	PM 2,5	0,64351	0,24542	0,08267
Autos No Catalíticos	PM 10	2,51941	0,96084	0,32367
	PM 2,5	0,6024	0,22977	0,07740
Taxis Catalíticos	PM 10	1,89365	0,72220	0,24328
	PM 2,5	0,45283	0,17270	0,05818
Taxis No Catalíticos	PM 10	1,66195	0,63383	0,21351
	PM 2,5	0,39742	0,15157	0,05106
Taxicolectivos	PM 10	1,85402	0,70708	0,23819
	PM 2,5	0,44335	0,16908	0,05696
Buses	PM 10	59,88245	22,83782	7,69317
	PM 2,5	14,31972	5,46122	1,83967

Fuente: Schmidt Claudio (2000).

Horas Totales de Viaje Diarias									
	Situación Base	Vías Exclusiva	T.Oriente 20 min.	T.Oriente 40 min.	T.Centro 20 min.	T.Centro 40 min.	Estac. 30%	Estac. 100%	Subsidio
	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]	[Horas]
Auto-Chofer	1945218	1659208	1881200	1849010	1884315	1858082	1871992	1853682	1824243
Auto-Acom	1823139	1575353	1749354	1702043	1755931	1734582	1754827	1757715	1724844
Bus-Metro	482768	422687	548165	547586	536486	537419	548802	545168	551036
Bus	6566333	4931580	6538817	6545250	6444192	6412292	6494417	6472967	6664634
Auto-Chofer-Metro	92023	69767	94073	103095	90510	90468	89266	88333	85363
Metro	175732	122636	174148	172819	174162	172918	175393	174403	158919
Auto-Acom-Metro	74914	56136	74193	82493	73443	73273	72623	71845	69201
Colectivo	545337	374484	702956	695688	701839	704950	716545	717817	766883
Colectivo-Metro	491931	307686	561683	557908	564200	561542	564299	563451	575017
Taxi	148856	122245	144819	142824	143459	140692	145999	145893	141251
Caminata	52482	41323	51952	51937	51015	50728	52557	52376	48535
Total	12398733	9683105	12521361	12450652	12419552	12336944	12486719	12443648	12609928

Fuente: Elaboración Propia.

Miles de Kilómetros recorridos al día									
	Situación Base	Vías Exclusiva	T.Oriente 20	T.Oriente 40	T.Centro 20	T.Centro 40	Estac. 30%	Estac. 100%	Subsidio
	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]	[miles Km]
Autos Catalíticos	23833	22347	22446	21646	23401	23241	23467	23391	23330
Autos No Catalíticos	12731	11824	12120	11794	12496	12411	12535	12494	12437
Taxis Catalíticos	2259	1950	2135	2084	2177	2145	2259	2269	2218
Taxis No Catalíticos	499	431	475	465	481	474	500	502	490
Buses	4132	4135	4132	4132	4132	4132	4132	4132	4132
Taxi-Colectivos	1941	1942	1941	1941	1941	1941	1941	1941	1941
Total	45396	42629	43249	42062	44629	44345	44834	44729	44549

Fuente: Elaboración Propia.

