

# ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LAS INCONVENIENCIAS EXTERNAS DEL TRÁNSITO CON FINES DE TARIFICACIÓN DE VÍAS NUEVAS

*Alberto Mendoza* (<sup>1</sup>)  
México

## Resumen

Frecuentemente se construye una vía nueva como alternativa para reducir las inconveniencias del tránsito en un área específica de una red vial, particularmente cuando dicha área presenta niveles significativos de congestión. Como resultado de tal construcción se reducen esas inconveniencias, lo cual justifica el cobro de cuotas para financiar la construcción y operación de la nueva vía.

Las inconveniencias del tránsito se dividen en dos tipos: aquéllas que, expresadas a manera de costo, son cubiertas por los usuarios; y aquéllas que no son cubiertas por los usuarios, pero que son infligidas a otros miembros de la sociedad de alguna manera.

Las inconveniencias del primer tipo se denominan como internas. Dentro de ellas se incluyen las relacionadas con los consumos y costos operativos vehiculares (depreciación, costo del combustible, de los lubricantes, de las llantas, del mantenimiento, peajes cobrados en las carreteras, etc.) para condiciones de flujo libre o niveles bajos de tránsito.

Las inconveniencias del segundo tipo se denominan como externas y se dividen en ambientales y de otras índoles. Dentro de estas últimas se cuentan el congestionamiento vial y los accidentes de tránsito, en tanto que dentro de las ambientales se encuentran la degradación ambiental en las formas de ruido, contaminación del aire, consumo de recursos energéticos, sobre-calentamiento del planeta, etc.

En este trabajo se hace referencia a las inconveniencias externas del tránsito más importantes, particularmente en relación con la evaluación y mitigación de sus efectos nocivos y su incorporación en las políticas tarifarias para vías nuevas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tránsito o la circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, caminos, etc., permite satisfacer los deseos de movilidad de los integrantes de las comunidades humanas. Como tal, el tránsito juega un papel esencial en el desarrollo social y económico de las sociedades modernas.

A pesar de sus importantísimos beneficios, el tránsito también trae como consecuencia una serie de inconvenientes, tales como los consumos y costos derivados del mismo, el ruido, la contaminación, el congestionamiento vial, los accidentes, etc.

Se espera que los efectos nocivos anteriores se incrementen significativamente en el futuro próximo como resultado del inexorable desarrollo económico y crecimiento del parque vehicular que experimentarán los países en transición (los países del Este y Centro de Europa), los países en desarrollo, así como los países que se encuentran en el umbral del desarrollo económico (Rusia y China).

---

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Transporte, e-mail: Alberto.Mendoza@imt.mx

Ante el reto anterior, este artículo se refiere al tratamiento de las inconveniencias del tránsito, particularmente aquéllas que no son repercutidas a quienes las generan (usuarios de los vehículos) en forma de costo y que por lo tanto son denominadas como externas. Asimismo, se explora la relación de dicho tema con el financiamiento de vías nuevas a través del cobro de cuotas, pues ésta es una de las opciones seleccionadas en México para dotar al país de la infraestructura carretera que le falta para alcanzar el ritmo de desarrollo que necesita.

### **1.1 Inconveniencias Internas y Externas del Tránsito**

Las inconveniencias del tránsito se dividen en dos tipos: aquéllas que, expresadas a manera de costo, son cubiertas por los usuarios; y aquéllas que no son cubiertas por los usuarios, pero que son infligidas a otros miembros de la sociedad de alguna manera.

Las inconveniencias del primer tipo se denominan como internas. Dentro de ellas se incluyen las relacionadas con los consumos y costos operativos vehiculares (p. ej. depreciación del vehículo, costo del combustible, de los lubricantes, de las llantas, del mantenimiento, los peajes cobrados en las carreteras, etc.).

Las inconveniencias del segundo tipo se denominan como externas y se dividen en ambientales y de otras índoles. Dentro de estas últimas se cuentan el congestionamiento vial y los accidentes de tránsito, en tanto que dentro de las ambientales se encuentran la degradación ambiental en las formas de ruido, contaminación del aire, consumo de recursos energéticos, sobre-calentamiento del planeta, etc.

Mientras que los costos por congestionamiento vial son los costos externos mayores, los de los accidentes y las inconveniencias externas ambientales son también significativos, particularmente los relacionados con la contaminación del aire.

Las inconveniencias externas representan alrededor del 20% del costo social total del transporte, incluyendo dentro de este último los costos del transporte privado (p. ej. propiedad y operación de los vehículos), del tiempo y del sector público. Las inconveniencias externas ambientales son del orden del 50% de las inconveniencias externas totales.

El no repercutir al usuario el costo de las inconveniencias externas genera una distorsión en el mercado, que produce una sobre-utilización de los vehículos que las causan en relación con el nivel de equilibrio económico (óptimo), lo cual opera en contra de un transporte equitativo, limpio, eficiente, seguro, etc.

En este trabajo se hace referencia a las inconveniencias externas del tránsito más importantes, particularmente en relación con la evaluación y mitigación de sus efectos nocivos y su incorporación en las políticas tarifarias para vías nuevas.

### **1.2 Análisis de los Efectos Nocivos del Tránsito**

En el desarrollo de las políticas de transporte es fundamental incluir lo correspondiente al control de las inconveniencias o efectos nocivos del tránsito. El nivel de los efectos nocivos puede ser local (p. ej. el ruido), regional (p. ej. daño a la biodiversidad) o global (p. ej. sobre-calentamiento del planeta).

Para lo anterior, es esencial comprender el mecanismo de generación de dichos efectos. Los enfoques más avanzados con ese fin utilizan el denominado “análisis de la cadena de impactos”. Éste consiste, para el caso específico considerado (p. ej. emisión de partículas sólidas a lo largo de una arteria que está siendo diseñada), en la identificación y

cuantificación de la secuencia de impactos, desde la generación del efecto original (emisión), siguiendo con su distribución física, la acumulación con otros efectos, su concentración en ubicaciones específicas, hasta llegar a sus efectos físicos en el hombre y la naturaleza.

Para la mayoría de los componentes de la cadena anterior y tipos de inconveniencias, la tecnología actual ya pone métodos de medición o modelación de suficiente precisión a disposición de los planeadores, que permiten establecer una cadena de efectos validada.

Una vez cuantificados los efectos físicos en el hombre y la naturaleza, su dimensión económica debe también ser estimada con el fin de determinar las estrategias más eficientes para el control de los efectos nocivos. Esta estimación se efectúa mediante el cálculo del costo de dichos efectos, existiendo diversos enfoques para ello.

Dentro de los enfoques existentes se incluyen algunos de la teoría económica neoclásica, en los que el costo se calcula sobre la base del costo de reemplazo de los recursos afectados o agotados y sobre la base de la pérdida de ingresos futuros. En estos enfoques, los humanos, los animales y las plantas son también considerados como recursos, cuyo valor en términos de reemplazo o ingreso futuro puede ser determinado.

Otros enfoques, denominados “de utilidad”, estiman el costo del impacto ambiental en el individuo, basándose en las hipótesis del comportamiento individual como las empleadas en la teoría general del equilibrio económico. Algunos de estos enfoques requieren que los individuos respondan expresando su deseo monetario a pagar para evitar la inconveniencia o a aceptarla a cambio de una compensación. Este deseo puede medirse mediante técnicas de preferencia establecida o revelada. En el primer caso, los individuos, expuestos a un conjunto de alternativas (a través de una encuesta por ejemplo), expresan la magnitud de su respuesta en la forma de pagos virtuales o compensaciones. En los enfoques de preferencia revelada, se obtienen suficientes casos de elecciones reales realizadas por los individuos así como de los atributos que influyeron en su elección en uno u otro sentido, utilizándose posteriormente técnicas de regresión para derivar la función de utilidad de los individuos que permita estimar el valor económico de la inconveniencia.

En otros enfoques, denominados “de riesgo”, el costo se estima sobre la base del costo de todas las medidas necesarias para minimizar el riesgo de impactos por encima de ciertos niveles límite y sobre la base del costo esperado de reparar el daño cuando ocurran esos impactos, hasta cumplir nuevamente con los niveles límite. Estos enfoques son similares a los que emplean las compañías aseguradoras.

La traducción de los impactos estimados en el hombre y la naturaleza en elementos de las políticas de transporte, puede realizarse mediante la siguiente estrategia general:

- El desarrollo de un conjunto de valores límite que deben ser controlados a través de instrumentos económicos (restricciones “blandas”) o de medidas regulatorias (restricciones “duras”). La violación de estos límites puede generar efectos negativos en el ser humano. A manera de ejemplo, la Tabla 1 muestra los límites máximos establecidos por algunas organizaciones internacionales y nacionales (en Alemania) para diferentes tipos de inconveniencias, así como la evolución que se pretende dar a los mismos en los próximos años (Rothengatter, W., 1990).

*Tabla 1*  
*Límites máximos y/o metas de mitigación establecidos internacionalmente y en Alemania*

<i>Aspecto protegido</i>	<i>Límite/Meta de mitigación</i>	<i>Desde</i>	<i>Hasta</i>	<i>Fuente</i>
Clima	80% para las emisiones de CO <sub>2</sub>	1990	2040	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)
	25% para las emisiones de CO <sub>2</sub>	1990	2005	Gobierno Federal de Alemania
Salud humana (agua, suelo, bosques)	2.5 µg/m <sup>3</sup> para el benceno y 1.5 µg/m <sup>3</sup> para partículas			Organización Mundial de la Salud (WHO), Agencia Ambiental del Gobierno Federal de Alemania (UBA)
	Reducir el riesgo de cáncer a 1:2500		2005	Consejo Asesor para Aspectos Ambientales de Alemania (SRU)
	90% para el benceno y las partículas	1988	2005	SRU, Comité Estatal para la Reducción de Contaminantes de Alemania (LAI)
	99% para el benceno y las partículas		2010	UBA
	80% para el NO <sub>x</sub> y para los compuestos orgánicos volátiles (COVs)	1987	2005	SRU
	40% para el NO <sub>x</sub> y para los COVs		2000	Ley Federal para la Reducción de Emisiones de Alemania (BImSchG)
Salud humana (ruido)	65 dB(A) en el día y 65 dB(A) en la noche		2005	UBA
	59 dB(A) en el día y 49 dB(A) en la noche		2010	UBA, SRU
	50 dB(A) en el día y 40 dB(A) en la noche		2030	UBA
Naturaleza y paisaje	Compensación a los afectados por el uso de áreas de reserva		2000	Comisión Europea
	Prohibición a construir nuevas carreteras en áreas protegidas			UBA
	Prohibición a considerar la extensión de la red federal de transporte en la planeación futura			UBA

- El desarrollo de una política de inversiones con base en análisis tipo beneficio-costos. Esta política debe incluir las medidas con mejores indicadores de rentabilidad social. Para una medida dada, estos indicadores deben estimarse de considerar al beneficio como la reducción del costo de los impactos estimados del análisis de la cadena así como cualquier otra ganancia derivada de obtener una operación más controlada a través de la mejora, y al costo como el costo de la implementación y aplicación de la mejora. En estos análisis debe utilizarse una tasa de descuento social para descontar los beneficios y costos anuales futuros del horizonte de análisis asumido. Esta tasa debe ser representativa del valor social de las medidas de mejoramiento en el tiempo, variando entre la tasa de interés del mercado de capitales para efectos nocivos que pueden ser reparados o compensados totalmente y muy baja o cero para efectos nocivos que pongan en riesgo la vida o la supervivencia humana (p. ej. la pérdida de recursos no renovables).
- El desarrollo de una política de precios a cobrar a los usuarios cuando se excedan los valores límite, utilizando precios derivados de la estimación del costo de los efectos nocivos según los enfoques antes mencionados.
- El desarrollo de una política regulatoria que permita cumplir con los valores límite, imponiendo restricciones al tránsito y a los deseos de movilidad de las personas.

- El desarrollo de políticas y estándares que incentiven a la industria a desarrollar tecnologías que reduzcan los efectos nocivos (p. ej. menos ruidosas, más limpias, más seguras, etc.)
- El desarrollo de una política educativa y de capacitación dirigida particularmente a las áreas en las que se presenten más violaciones a los valores límite.

En muchos países existen instituciones creadas específicamente para encabezar los esfuerzos dirigidos a controlar algunas de las inconveniencias externas más relevantes (p. ej. la Agencia para la Protección del Ambiente, o EPA por sus siglas en inglés, responsable de regular la calidad del aire en los EEUU; la Comisión Nacional de Seguridad Vial en Chile, responsable de gestionar la reducción de accidentes viales en ese país; etc.).

## **2. INCONVENIENCIAS EXTERNAS**

### **2.1 Congestionamiento Vial**

En un mercado no regulado, los usuarios, al circular por una vía, incurren en un costo personal determinado. Cuando la demanda es mayor que un cierto nivel en el que ya empieza a haber interferencia entre los usuarios, cada uno de ellos impone un costo adicional a los otros usuarios. Éste es un costo externo que incluye el incremento en los costos de los tiempos de viaje, de operación vehicular y de contaminación ambiental.

Dentro de las medidas que se utilizan para mitigar el congestionamiento vial en ciertas áreas se encuentran: la construcción de nuevas vías, la ampliación de la capacidad de vías existentes, el mejoramiento de su calidad de rodaje y de servicio en general, la restricción a la circulación a través de medidas “blandas” (precios e impuestos por congestión) o “duras” (prohibición de ciertos tipos de vehículos, restricciones al estacionamiento, etc.), la aplicación de medidas y tecnologías para agilizar el tránsito (p. ej. ITS), etc.

### **2.2 Accidentes**

La utilización de los vehículos genera accidentes de tránsito. Aunque en México algunos de los costos de los accidentes son pagados por aquéllos que los generan ya sea directamente o través de seguros, una parte importante de estos costos es infligida a otros miembros de la sociedad, tornándose en costos externos. El costo de un accidente vial incluye el costo de los muertos, de los lesionados así como de los daños materiales resultantes.

Las medidas para mitigar los accidentes son diversas e incluyen desde estrategias administrativas y organizacionales (implementación de procesos de planeación estratégica y de sistemas de administración de la seguridad) hasta programas para reducir la exposición de los usuarios al riesgo, así como para prevenir los accidentes, mejorar la conducta de los usuarios, controlar el nivel de las lesiones y atender oportunamente a los lesionados.

### **2.3 Ruido**

El ruido es un subproducto no deseado del tránsito y el transporte. El ruido no sólo causa inconveniencias sociales, sino que también puede generar daños a la salud física y fisiológica.

El ruido producido por el desplazamiento de los vehículos sobre las vías se mide en decibeles tipo A o dB(A), que es la unidad usada para medir un sonido y el tamaño y

amplitud de las fluctuaciones de presión. El oído humano capta sonidos entre 16 y 20 mil Hertz. La letra A significa que el nivel de ruido es recogido por un micrófono que lo filtra y ajusta de la misma manera que el oído humano filtra y ajusta el sonido que recibe.

Ha sido frecuente estimar el costo del ruido de contabilizar la pérdida de valor en el mercado, de los bienes raíces (casas, edificaciones, etc.) afectados por encima de cierto límite o valor de umbral.

Las medidas para mitigar el ruido incluyen: la creación de barreras y zonas de amortiguamiento, la instalación de aislamientos en las casas y edificaciones, el control del uso del suelo, la agilización del tránsito, el uso de pavimentos absorbentes del ruido, etc.

## 2.4 Contaminación del Aire

La contaminación del aire puede producir daños en la salud humana, los materiales y edificaciones, las cosechas, los bosques, etc.

La contaminación del aire proviene principalmente de las fuentes de combustión en el ambiente, tales como los vehículos, las plantas generadoras de energía, los incineradores, los hornos domésticos, la combustión de la biomasa, etc.

Las fuentes de contaminantes del aire pueden ser de tres tipos: móviles localizadas en vías, móviles no localizadas en vías y no móviles. Dentro de las principales fuentes móviles localizadas en vías se incluyen los vehículos ligeros y pesados, de gasolina y diesel. Dentro de las principales fuentes móviles no localizadas en vías se encuentran los equipos agrícolas, las locomotoras, los motores marítimos, los aviones, etc. Dentro de las fuentes no móviles se encuentran algunos equipos relacionados con la actividad industrial y los procesos de manufactura.

Las emisiones vehiculares son de dos tipos: las que salen por el escape y las que se generan por evaporación.

Las primeras se producen durante la combustión de la gasolina o el diesel en los motores de combustión interna. Si éstos fuesen 100% eficientes, el oxígeno (O<sub>2</sub>) reaccionaría con todo el hidrógeno y el carbono de dichos combustibles para formar agua y CO<sub>2</sub>. Sin embargo, como no lo son, la combustión del combustible es sólo parcial, generándose emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y HC por el escape. Estas emisiones incluyen las que se producen cuando el motor está operando y se encuentra caliente, y las que se generan cuando está frío, o sea durante los primeros minutos de operación.

Las emisiones por evaporación se producen porque los combustibles son volátiles. Incluyen las que se generan cuando la temperatura está aumentando, o disminuyendo, o durante la primera hora después de apagado el motor mientras todavía está mojado de combustible, o cuando el vehículo está en reposo.

Los vehículos automotores son fuente principal de los siguientes cuatro contaminantes: CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y PM. La Tabla 2 presenta los estándares primarios y secundarios establecidos en EEUU para cada uno de ellos (EPA, 2001). En la tabla se distinguen las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y las gruesas (PM<sub>10</sub>). Las primeras son aquéllas que tienen menos de 2.5 µm de diámetro aerodinámico, en tanto que las segundas son aquéllas que tienen diámetro aerodinámico mayor a 2.5 µm y menor a 10 µm.

*Tabla 2*  
*Estándares Nacionales Ambientales para la Calidad del Aire (NAAQS por sus siglas en inglés)*  
*establecidos en EEUU*

<i>Contaminante</i>	<i>Estándar primario</i>		<i>Estándar secundario</i>
	<i>Concentración promedio</i>	<i>Período al que corresponde el promedio</i>	
CO <sub>2</sub>	9 ppm 35 ppm	8 h 1 h	Ninguno Ninguno
NO <sub>2</sub>	0.053 ppm	Promedio anual	Igual al primario
O <sub>3</sub>	0.12 ppm 0.08 ppm	Máximo promedio diario por hora 4º máximo promedio diario por 8 horas	Igual al primario
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup> 150 µg/m <sup>3</sup>	Promedio anual 24 horas	Igual al primario
PM <sub>2.5</sub>	15 µg/m <sup>3</sup> 65 µg/m <sup>3</sup>	Promedio anual 24 horas	Igual al primario

Es usual estimar el inventario de emisiones totales generadas en una cierta región como base para determinar si en dicha región se cumplen los estándares establecidos para la calidad del aire y para definir las medidas de mejoramiento pertinentes. La estimación se basa en sumar los productos de la magnitud de una serie de actividades para cada uno de los tres tipos de fuentes de contaminantes del aire mencionados (móviles localizadas en vías, móviles no localizadas en vías y no móviles), por sus correspondientes factores de emisión. Dichas magnitudes se refieren a los vehículos-kilómetro viajados, el número de veces que se encienden los motores, los tiempos de evaporación, etc. Estas magnitudes suelen estimarse a partir de modelos de demanda y estudios muestrales, en tanto que los factores de emisión, de modelos computacionales tales como el MOBILE utilizado en EEUU (EPA, 2002) o el COPERT utilizado en Europa (Kouridis, et al., 2000).

Los costos externos por contaminación del aire incluyen los impactos en la salud humana, la visibilidad, las cosechas, los materiales y edificaciones y los bosques.

Dentro de las medidas para mitigar la contaminación ambiental se encuentran: la promulgación de estándares para la calidad del aire, la aplicación de estándares y programas de certificación para las emisiones de escape de los vehículos, la obligatoriedad de que los vehículos cuenten con convertidores catalíticos de tres vías, el uso de combustibles mejorados (oxigenados, desulfurados, sin plomo, etc.), restricciones espaciales y temporales a la circulación de vehículos, el uso de tecnologías ITS a bordo de los vehículos que generan diagnósticos en relación con sus emisiones, la implementación y el fomento del uso de modos alternativos menos contaminantes (p. ej. el transporte eléctrico masivo), la agilización del tránsito, etc.

### **3. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LAS INCONVENIENCIAS EXTERNAS**

#### **3.1 Congestionamiento Vial**

El costo externo por congestionamiento vial se puede estimar a partir de modelos de demanda que permitan obtener, para un determinado nivel de congestionamiento de una vía, el valor marginal social de los vehículos-kilómetro, del tiempo de viaje y de la contaminación ambiental. El costo externo por congestionamiento es la suma de las

multiplicaciones de dichos valores marginales por sus correspondientes costos unitarios promedio.

El costo promedio de operación vehicular por vehículo-kilómetro puede obtenerse a partir de registros contables estadísticos, o también de modelos computacionales (Archondo, R., 1989). El costo por unidad de tiempo de viaje se calcula como el costo de oportunidad en actividades productivas o de otros tipos (educación, entretenimiento, etc.) en el caso de los pasajeros, o del costo de oportunidad en el mercado de capitales para el caso de la carga. El costo unitario por contaminación ambiental se estima según los principios presentados más abajo para este concepto.

### **3.2 Accidentes**

El costo por accidentes se estima de sumar las multiplicaciones del costo unitario por muerto y por lesionado, por los saldos correspondientes, adicionando a dicha suma el costo de los daños materiales.

El costo unitario por muerto se estima a partir de los ingresos que la persona fallecida hubiese percibido durante la parte restante de vida productiva que hubiese tenido, así como de los gastos médicos y otros costos humanos intangibles. Para México y para 30 años de vida malograda, se ha obtenido un costo promedio por muerto del orden de 400 mil dólares.

El costo unitario por lesionado se integra considerando el porcentaje de lesionados ligeramente y el porcentaje que son severos, y ponderando por estos porcentajes los costos unitarios correspondientes. Tanto para los lesionados ligeramente como para los severos, el costo unitario se estima del ingreso que el lesionado deja de percibir durante el período de su recuperación, gastos médicos y otros costos humanos intangibles. Para México, considerando que 80% de los lesionados son ligeros y 20% son severos, se ha obtenido un costo unitario del orden de 12 mil dólares por lesionado.

El costo por daños materiales puede obtenerse de los registros de las compañías aseguradoras.

El costo anual de los accidentes viales en México, que generan alrededor de 15 mil muertos, ha sido estimado en el orden de los 6 mil millones de dólares (CONAPRA, 2003).

### **3.3 Ruido**

Ha sido frecuente estimar el costo del ruido en función del porcentaje de pérdida en el valor de los bienes raíces (casas, edificaciones, etc.) por decibel tipo A de ruido por encima de cierto límite o valor de umbral, así como del valor promedio anualizado por bien raíz, del número de bienes raíces expuestos al ruido, de la exposición por encima del límite y de un factor de ponderación que toma en consideración el tipo de uso del suelo (residencial, no residencial, etc.).

Valores comunes estimados para el porcentaje de pérdida en el valor de bienes raíces por decibel tipo A de ruido por encima de cierto límite (p. ej. 55 dB(A)) oscilan entre 0.2 y 1.3%. En su determinación se han utilizado técnicas de preferencia revelada o establecida, en función de las características de las edificaciones, del nivel de ruido, etc.

### **3.4 Contaminación del Aire**

Para un determinado cambio en la utilización vehicular (o el nivel de tránsito), debe realizarse el análisis de la secuencia de impactos correspondiente, determinándose el



cambio resultante en las emisiones, el cambio en la calidad del aire generado por la dispersión y transformación química de los contaminantes emitidos, la exposición al nuevo nivel de calidad del aire, así como los impactos en la salud, la visibilidad, la agricultura, etc., derivados de esa exposición. Como ya se mencionó en la Sección 1.2, la tecnología actual proporciona elementos (p. ej. funciones, modelos, etc.) para la estimación de cada uno de los efectos de la cadena. Asimismo, debe efectuarse la valuación en términos monetarios de los impactos en la salud, la visibilidad, la agricultura, etc.

Algunas particularidades de la aplicación del enfoque anterior al caso de la contaminación del aire por efectos del tránsito, son:

- En la práctica es usual que se evalúan los impactos en la salud humana, la visibilidad, las cosechas, los materiales y edificaciones, y los bosques. Para cada uno de estos aspectos, generalmente se utiliza una función de daño que permite estimar las pérdidas resultantes por cada contaminante, para las condiciones específicas de exposición en un lugar y un tiempo determinados. Estas pérdidas son posteriormente traducidas en sus correspondientes valores monetarios.
- Para la salud humana, las funciones de daño (que en este caso suelen denominarse como funciones concentración-respuesta y que son definidas a partir de estudios epidemiológicos), permiten cuantificar: el número de años de vida perdidos por todas las personas afectadas por una exposición determinada, el nivel generado de problemas respiratorios crónicos, el número de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, de atenciones de emergencia, de días escolares perdidos, de ataques de asma, etc. Para cada una de estas cantidades, es posible estimar el costo monetario correspondiente; por ejemplo, para el número de años de vida perdidos, el costo puede obtenerse de multiplicar dicho número por el valor promedio de un año de vida perdido. A su vez, este último valor puede generarse del valor de una vida estadística, obtenido de los ingresos que la persona promedio tendría durante su expectativa de vida remanente, entre el número de años de esa expectativa (30 a 35 años). La valuación de una vida estadística tiene variaciones enormes entre países, oscilando desde valores bajos del orden de 55 mil dólares estadounidenses para Portugal hasta de más de 3.6 millones de dólares para los EEUU. En otros enfoques, el valor de una vida estadística se estima de cuantificar el valor de una reducción determinada en el riesgo de muerte, aplicando técnicas de preferencia revelada o establecida a un grupo representativo de individuos (p. ej. 40 dólares por una reducción en el riesgo de 1/10,000 da un valor de 400 mil dólares para una vida estadística para México).
- La Tabla 3 ilustra límites inferior y superior estimados para el costo de los impactos en la salud humana por tipo de contaminante, calculados a partir de los principios señalados anteriormente, por kilogramo de emisiones vehiculares (Delucchi, M. A., 2000). Los valores en la Tabla 3 corresponden a áreas urbanas de los EEUU, para 1990 y para un cambio de 10% en la utilización vehicular. De la Tabla 3 es evidente que el mayor costo por impactos en la salud humana lo produce la contaminación por materia en forma de partículas (PM), seguido con valores mucho más pequeños por los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), etc.
- La mayoría de las partículas emitidas por la combustión en los vehículos automotores así como el polvo generado por la circulación vehicular (incluyendo el generado por la abrasión de las llantas y otras partes de los vehículos), dispersan y absorben la luz, reduciendo la visibilidad. Este efecto reduce el valor de las propiedades (bienes raíces)

e incrementa el peligro de viajar. También en este caso se utilizan funciones de daño para cuantificar la reducción de la visibilidad resultante de una emisión determinada, así como las técnicas de preferencia revelada o establecida para estimar el valor monetario que los individuos están dispuestos a pagar por una mejor visibilidad. Aplicando estos principios, la Tabla 3 presenta la contribución en costo por impactos en la visibilidad para cada contaminante, por kilogramo de emisiones vehiculares. Como es evidente, los mayores costos son generados por las emisiones directas de PM y SO<sub>x</sub>, seguidas por las de NO<sub>x</sub>.

- La Tabla 3 también presenta los costos por pérdida en las cosechas, calculados bajo principios similares que para la salud y la visibilidad. Como es evidente, dichos costos son prácticamente despreciables, siendo ésta la misma razón por la que en la tabla tampoco se presenta lo correspondiente a materiales, edificaciones, bosques, etc.
- Como resultado de agregar el costo monetario de los impactos derivados de la exposición en todos los sitios de un país determinado así como de todo un año, es posible arribar a los montos anuales nacionales correspondientes. Para los EEUU, el costo total de la contaminación del aire por efectos del tránsito vehicular oscila entre los 100 y los mil millones de dólares anuales, debiéndose el 55.2% a los efectos en la salud humana por la materia en forma de partículas (PM), el 7.7% a los efectos en la salud humana por los otros contaminantes, el 20.2% por los efectos en la salud humana del polvo el polvo generado por la circulación vehicular, 8.3% por degradación de la visibilidad, 5.7% por pérdida en las cosechas, 2.4% por daño a los materiales y edificaciones y 0.5% por daño a los bosques (Delucchi, M. A., 2000).

Tabla 3

Límites inferior y superior estimados para el costo de los impactos sobre distintos aspectos por tipo de contaminante (dólares estadounidenses/kg de emisiones vehiculares)

Aspecto afectado	Contaminantes											
	PM <sub>10</sub>		NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		CO		COVs		COVs y NO <sub>x</sub>	
	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Lím. Inf.	Lím. Sup.
Salud	13.7	187	1.6	23.3	9.6	90.9	0.0	0.1	0.1	1.5	0.0	0.1
Visibilidad	0.4	3.9	0.2	1.1	0.9	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cosechas	NE <sup>1</sup>	NE <sup>1</sup>	NE <sup>1</sup>	NE <sup>1</sup>	NE <sup>1</sup>	NE <sup>1</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
Total	14.1	191	1.8	24.5	10.5	94.9	0.0	0.1	0.1	1.5	0.4	0.7

<sup>1</sup>NE = No estimado

#### 4. “INTERNALIZACIÓN” DE INCONVENIENCIAS EXTERNAS Y POLÍTICA ÓPTIMA DE TARIFICACIÓN

Un requisito para el funcionamiento óptimo socialmente de un sistema vial es la “internalización” de todos los costos generados por los usuarios o la eliminación de las distorsiones producidas por las inconveniencias externas.

En el caso de las vías de cuota, las casetas de cobro proporcionan un elemento para “internalizar” una parte importante de los costos externos, aunque no de la manera idónea, que es en el lugar y en el momento específicos de la generación de las inconveniencias. Para las vías libres, las posibilidades son más limitadas, reduciéndose, como ya se indicó

en la Sección 1.2, a la aplicación de restricciones “blandas” (impuestos) o “duras” (medidas regulatorias).

La posibilidad de “internalizar” los costos externos a través de las cuotas en el caso de una vía de cuota, debe analizarse considerando a dicha vía, no de una manera aislada, sino como parte del sistema vial global.

Como el proyecto de una nueva vía generalmente se implementa para mitigar ciertos problemas específicos de servicio a través de la red vial existente (congestionamiento, ruido, contaminación, etc.), al momento de abrirse a la circulación, dicha vía representa condiciones de circulación más convenientes para cada usuario en lo particular que el resto de las alternativas a través de la red existente. Lo mismo suele ser también cierto socialmente, es decir, desde el punto de vista de la conveniencia de todos los usuarios del sistema.

En esas circunstancias, el cobro de cuotas a la circulación por la nueva vía genera dos efectos que se contraponen. Por un lado, si bien es cierto que el cobro de cuotas favorece la captación de ingresos para financiar la nueva vía, también lo es que opera como una distorsión que disuade su uso, reduciéndolo por debajo del nivel que es económicamente óptimo. Desde este punto de vista, lo más conveniente es cobrar las cuotas mínimas necesarias para afrontar los compromisos económico-financieros derivados de la construcción y operación de la nueva vía.

En concordancia con lo antes dicho, la posibilidad de “internalizar” en las cuotas el costo de las inconveniencias externas generadas por la circulación a través de la vía de cuota, está en primer lugar ligada, por razones de equidad y conveniencia social, con poder también implantar las medidas equivalentes (“blandas” o “duras”) para la circulación por las alternativas de la red vial existente (generalmente sin cuota).

La aplicación de medidas “blandas” o “duras” para la circulación por las alternativas de la red vial existente también puede verse como un instrumento que, al favorecer la captación de la demanda por la nueva vía de cuota, no sólo beneficie su generación de ingresos sino que también contribuya a contrarrestar el efecto disuasivo de las cuotas, retornando su uso al nivel económicamente óptimo. Dichas medidas deben ser también más severas, relativamente, para los vehículos generadores de mayores inconveniencias externas, como son los privados (automóviles y camiones de carga).

En México, ya se han aplicado estrategias del tipo anterior, tales como la obligatoriedad para los camiones de carga que transportan materiales y residuos peligrosos, a circular por autopistas y libramiento de cuota, en razón de las inconveniencias externas que su circulación por vías urbanas (más congestionadas y con mayor densidad poblacional en su entorno) y carreteras libres (capacidad y estándar geométrico menores) genera. Otro caso es la restricción a la circulación durante un día de cada semana (de acuerdo con el último número de sus placas) para los vehículos que transitan por la red urbana del Área Metropolitana de la Ciudad de México (que sufre de severos problemas de congestionamiento, contaminación del aire, etc.), en favor de las vías de cuota en las que en general no se aplica dicha restricción, por encontrarse en la periferia del área urbana.

## 5. CONCLUSIONES

El tránsito y en general el transporte, juegan un papel esencial en el desarrollo socioeconómico de las sociedades modernas. Sin embargo, también se encuentran en el centro de la generación de efectos nocivos crecientes. Por lo tanto, el reto es continuar obteniendo sus importantes beneficios reduciendo sus inconveniencias a niveles aceptables. Lo anterior requerirá de estimar los impactos de esos efectos en el hombre y la naturaleza, y de traducirlos en elementos de las políticas de transporte, como son las políticas tarifarias para vías nuevas.

## 6. REFERENCIAS

Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2001), *“La Calidad Ambiental del Aire y Reporte sobre las Tendencias de las Emisiones, 2000”*, EPA 454/R-01-004, Oficina de Planeación y Estándares para la Calidad del Aire, División de Análisis y Monitoreo de las Emisiones, EPA, Washington, DC.

Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2002), *“Descripción Técnica de MOBILE6.2 y Guía sobre su Uso para la Preparación de Inventarios de Emisiones”*, EPA 420/R-02-011, División de Estándares y Evaluación, Oficina de Transporte y Calidad del Aire, EPA, Washington, DC.

Archondo, R. (1989), *“Modelo Costos de Operación Vehicular, Versión 3.0”*, El Banco Mundial, Washington, DC.

Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (CONAPRA) (2003), *“Compendio Estadístico de la Mortalidad Registrada por Accidentes”*, CONAPRA, Secretaría de Salud, México, DF.

Delucchi, M. A. (2000), *“Inconveniencias Ambientales Externas del Uso de los Vehículos de Auto transporte en EEUU”*, Journal of Transport Economics and Policy, 34:135-168.

Kouridis, Ch., L. Ntziachristos y Z. Samaras (2000), *“COPERT III: Programa Computacional para Calcular Emisiones del Auto transporte, Manual del Usuario”*, Agencia Ambiental Europea, Reporte Técnico No. 50.

Rothengatter, W. (1990), *“Conceptos Ambientales – Físicos y Económicos”*, Manual del Transporte y el Ambiente, Editado por D. A. Hensher y K. J. Button, Elsevier Ltd.