

**LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DEL TRANSPORTE URBANO: EL
CASO DE SANTIAGO DE CHILE**

Raul O'Ryan

SERIE ECONOMIA N° 30

Marzo, 1998

Centro de Economía Aplicada
Departamento de Ingeniería Industrial
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DEL TRANSPORTE URBANO: EL CASO DE SANTIAGO DE CHILE¹

Raúl O’Ryan
Programa de Gestión y Economía Ambiental
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Chile

RESUMEN

El sistema de transporte urbano genera una diversidad de impactos ambientales: en la calidad del aire a nivel local, sobre problemas ambientales globales, de ruido, de uso de recursos y otros. La forma en que las ciudades se organizan para enfrentar la creciente demanda por viajes determinará su sustentabilidad ambiental, es decir si en el mediano y largo plazo las condiciones ambientales prevalecientes -como consecuencia del transporte- serán aceptables. En este paper se examina la relación entre el sistema de transporte y el medio ambiente urbano, identificando los principales impactos ambientales de este sistema. Luego se discuten las tendencias del transporte que afectan el medio ambiente, comparando lo que sucede en países desarrollados y en desarrollo: crecimiento en la tasa de motorización, creciente uso del automóvil, lenta tasa de renovación del parque automotor en países en desarrollo, desarrollo urbano en extensión. Finalmente se evalúa para Santiago la forma en que las tendencias antes señaladas impedirán el logro de mejoras significativas en la calidad ambiental para el año 2005, al aplicar los Planes de Transporte y de Descontaminación propuestos para la ciudad. Ello pone de manifiesto la necesidad urgente de diseñar y aplicar nuevos instrumentos orientados a desincentivar el creciente uso del automóvil y mantener y aumentar el uso de transporte público, si se quiere lograr un transporte sustentable.

Palabras Claves: Transporte sustentable; desarrollo sustentable; gestión ambiental urbana; contaminación atmosférica

Clasificación JEL: Q25, Q28, R49.

¹ Presentado en el Seminario “Crecimiento Económico y Desarrollo Sustentable en América Latina” organizado por el EDI del Banco Mundial, y el Centro de Análisis de Políticas Públicas de la Universidad de Chile, en Santiago, Chile, Mayo 14-16, 1997.

1. Introducción

Existe un proceso de acelerada urbanización en el mundo lo que implica que más personas vivirán y trabajarán en ciudades, y que más personas realizarán viajes en zonas urbanas, a menudo de mayor extensión. La forma en que las ciudades tradicionalmente han respondido a esta creciente demanda por transporte es expandiendo la oferta de transporte, lo que por lo general significa construir más calles para acomodar una cantidad siempre creciente de automóviles. Esto ha creado una nueva forma urbana, la metrópolis de crecimiento inorgánico en extensión. Si bien el automóvil ofrece ventajas incuestionables en cuanto a comodidad, privacidad y velocidad de desplazamientos, sus desventajas se están haciendo cada vez más evidentes: congestión, contaminación del aire y acústica, accidentes. Esto es especialmente significativo en países en desarrollo donde las tasas de crecimiento del parque automotor son altas y no existen los recursos financieros para construir la infraestructura requerida para acomodar los vehículos adicionales.

La forma en que las ciudades se organizan para enfrentar esta creciente demanda por viajes determinará su sustentabilidad ambiental, es decir si en el mediano y largo plazo las condiciones ambientales prevalecientes -como consecuencia del transporte- serán aceptables. Esto implica -en términos muy generales- que el sistema de transporte se puede considerar sustentable si ofrece la movilidad básica requerida por sus ciudadanos, sin dañar el ambiente y la naturaleza. Por lo general, el creciente uso del automóvil genera crecientes problemas ambientales, por lo que esta forma de satisfacer los requerimientos de accesibilidad no sería sustentable. Por cierto, no existe una definición práctica de “transporte sustentable”². Sin embargo, es posible iluminar la discusión al respecto examinando aquellos aspectos de las prácticas en transporte que no son sustentables. En efecto, se puede establecer la relación entre el sistema de transporte y el medio ambiente y de esta forma determinar sus impactos negativos. En la segunda sección de este documento se hace esto: se identifican los problemas locales, globales, de ruido, uso de recursos y otros asociados al transporte urbano.

Los problemas urbanos relacionados con el transporte se originan en una serie de factores interrelacionados. Por una parte el aumento de la población y del ingreso llevan a crecientes tasas de motorización, lo que a su vez ha creado una mayor propensión al uso del automóvil. La forma de la ciudad -en extensión y poco diversificada- también implica un número creciente de viajes, cada vez más largos. Por otra parte, cabe señalar que estos factores son diferentes en un contexto desarrollado -donde ya se ha asentado el uso masivo del automóvil y el transporte público moviliza a una baja proporción del total de viajes- que en uno en desarrollo donde recién se inicia este proceso. En los países más pobres, las bajas tasas de renovación de la flota mantienen en circulación más tiempo vehículos antiguos, altamente contaminantes. Estas tendencias, que determinan si el desarrollo del transporte en una ciudad será mas o menos sustentable, se examinan en la tercera sección.

Para examinar en detalle las implicancias sobre la sustentabilidad del transporte urbano de los factores mencionados se presenta en la cuarta sección el caso de Santiago. En esta ciudad con altos niveles de contaminación, el sistema de transporte -en particular el automóvil- es responsable principal de la mayoría de las emisiones contaminantes y de la contaminación acústica. Las tendencias que se observan en el sistema parecen indicar una fuerte inercia y dificultades para revertir la actual situación,

² OCDE (1996 a ,b y c) presentan una discusión sobre el tema.

a pesar de crecientes esfuerzos en este sentido. En particular, la creciente motorización y uso del automóvil, en desmedro del transporte público, es un obstáculo importante para mejorar la calidad ambiental, como se muestra al extrapolar las actuales tendencias al año 2005. Finalmente, la última sección presenta las principales conclusiones.

2. El Sistema de Transporte y el Medio Ambiente

La operación de los sistemas de transporte genera una diversidad de problemas ambientales. La contaminación del aire y acústica en ciudades son los dos problemas ambientales más reconocidos asociados al transporte. Sin embargo el funcionamiento de los sistemas de transporte incide además sobre la calidad de las aguas, los olores, la vida animal y vegetal, la durabilidad de los materiales, el uso del recurso suelo, la estética del entorno, pudiendo llegar a impactos de nivel global, tales como el “calentamiento global” y el agotamiento de la capa de ozono. A continuación se detallan algunos de estos efectos.

Impactos Locales: la Contaminación Atmosférica en Ciudades

La contaminación atmosférica de ciudades grandes y pequeñas es el problema más significativo que se asocia al transporte. Los contaminantes atmosféricos urbanos son múltiples, distinguiéndose entre los primarios, emitidos directamente hacia la atmósfera - material particulado de tamaño inferior a 10 micrones³ (PM-10), óxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y plomo (Pb)- y los secundarios, formados en la troposfera como resultado de reacciones atmosféricas entre NO_x, COV y oxígeno (denominados precursores) en presencia de una fuerte radiación solar. Sustancias típicas son el ozono y otros oxidantes fotoquímicos. El Cuadro 1 presenta un resumen de los principales contaminantes atmosféricos de efecto local, sus principales fuentes emisoras y sus efectos sobre la salud humana.

La contaminación del aire urbano es un fenómeno global, que afecta tanto a países desarrollados como en desarrollo. Según Lean (Lean, 1990), recopiló información que presenta a 75 ciudades del mundo en las que en 1990 se excedía las normas de referencia fijadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para alguno o varios de estos contaminantes. Al considerar 20 megaciudades⁴ se concluye que el problema de contaminación del aire es significativo en todas, superándose al menos una norma de referencia en cada ciudad. De hecho en Ciudad de México, Beijing, Cairo, Jakarta, Los Angeles, Sao Paulo y Moscú se superan las normas de referencia en tres o más contaminantes (ARIC, 1996). El cuadro 2 por su parte, resume la importancia del problema en diversas ciudades del mundo.

El transporte es la fuente que más contribuye a estos problemas ambientales. En efecto, los vehículos producen más contaminación atmosférica que cualquier otra actividad humana (WRI, 1992, p203). A nivel global, cerca del 50% del total de emisiones de CO, hidrocarburos (HC)⁵ y NO_x se origina en procesos de combustión asociados a vehículos (Saville, 1993, p. 32). En el centro de las ciudades, en particular en calles altamente congestionadas, el tráfico puede ser responsable de hasta el 95% de las concentraciones de CO, 90% do HC y NO_x, y una proporción significativa del material

³ 1 micrón equivale a 1×10^{-6} metros, o $1 \mu\text{m}$.

⁴ Ciudades que al año 2000 tendrán más de 10 millones de habitantes.

⁵ Los HC son una forma de COV's.

particulado, con el consiguiente efecto sobre la salud humana y los recursos naturales (ibid). Debido al significativo uso de automóviles en las ciudades de países desarrollados, las emisiones vehiculares son claramente responsables de proporciones significativas de CO, NO_x, HC, y particulado. Así, en los Estados Unidos en 1993, las fuentes móviles fueron responsables del 77% de las emisiones de CO, 45% de NO_x, 36% de COV y 22% de particulado. En países en desarrollo en cambio, por lo general las emisiones vehiculares son un problema sólo en las grandes urbes (WRI, 1996, p.86)⁶. El cuadro 3 presenta la contribución vehicular a la contaminación urbana en diversas ciudades.

Como consecuencia de los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica resultan aumentos en las muertes prematuras, hospitalizaciones, atenciones de urgencia, días de reposo, enfermedades respiratorias menores en niños, ataques de asma, síntomas respiratorios en general, bronquitis crónica, tos y disconfort torácico, e irritación de ojos. Por otra parte hay efectos sinérgicos, mutagénicos y cancerígenos. Por ejemplo, el material particulado respirable (emitido principalmente por los vehículos que utilizan el diesel como combustible) interfiere en el funcionamiento del sistema respiratorio, además de facilitar y agravar las infecciones respiratorias agudas. Su persistencia ha sido asociada a aumentos en la prevalencia de bronquitis crónica, asma y otros efectos permanentes. El efecto irritante del material particulado presenta sinergia con el provocado por el anhídrido sulfuroso. Algunos componentes habituales del material particulado atmosférico son sustancias reconocidamente mutagénicas e, incluso, cancerígenas. Los períodos de alta concentración de PM10 han sido estadísticamente asociados a incrementos en la tasa de mortalidad (muertes prematuras).⁷

Por cierto la contaminación atmosférica en ciudades genera otros efectos. La contaminación por material particulado, ozono y SO₂ típicamente afecta a los materiales, en particular las superficies expuestas. Causan corrosión en metales, el deterioro de las superficies de edificios y oscurecimiento de éstas. Además el daño se puede manifestar en los componentes y contactos eléctricos, pinturas, fibras metálicas (especialmente zinc y acero), textiles y caucho y elastómeros. Ello puede conducir a que se deban realizar reparaciones, lavados y pintado con más frecuencia y en algunos casos realizar una renovación de equipos, cercos, cañerías, ductos en forma anticipada.

⁶ Sin embargo, aún en ciudades menores tales como Peshawar, Pakistán y Katmandu, Nepal la contaminación del aire debido a emisiones vehiculares se está transformando en un problema de creciente importancia (U.K. Dept. of the Environment., 1992, pp 20-21)

⁷ La fuente de esta información es el trabajo de José Miguel Sánchez, citado en Banco Mundial (1994), p. 182.

Cuadro 1: Principales contaminantes atmosféricos asociados al transporte

<i>Contaminante</i>	<i>Composición</i>	<i>Fuentes (especificando tipo de vehículo responsable, cuando corresponde)</i>	<i>Daños en salud y otros</i>	<i>Normas recomendadas para salud(OMS) µg/m³</i>	<i>Características</i>
Oxidos de Azufre	SO _x	combustión de carbón, aceite y otras gasolinas con sulfuro; refinamiento de petróleo, fundición de metal, fabricación de papel .	Agudiza problemas de enfermos bronquiales al ser inhalado con material particulado	1 hora: 40-60 24 hrs: 100-150	gas incoloro, pesado, soluble en agua con olor fuerte e irritante
PM10	heterogénea	muchas fuentes: polvo de calles levantado por tráfico, procesos de combustión, procesos industriales, construcción, incendios forestales, incineración, emisiones vehiculares.	Irritación membranas mucosas, Aumento dificultades respiratorias, propiedades carcinógenas	PM10, 24 hrs: 100-150	partículas sólidas o pequeñas gotas incluyendo humo, polvo y aerosoles
Oxidos de Nitrógeno	NO _x	Combinación de nitrógeno y oxígeno atmosférico a altas temperaturas de combustión (motores); subproducto de la fabricación de fertilizantes .	Irritación Pulmonar, Aumento susceptibilidad a virus	NO ₂ 24 hrs: 150	gas café rojizo, relativamente soluble en agua
Hidrocarburos (y otros comp. org.volátiles (COVs))	variable	vehículos motorizados - evaporación de tanques de gasolina, carburadores; procesos industriales que involucran solventes.	Irritación ocular y nasal, intoxicación, y propiedades carcinógenas		muchos y variados compuestos de hidrógeno y carbón
Monóxido de Carbono	CO	combustión de petróleo, por ejemplo, gasolina	En contacto con hemoglobina forma compuesto dañino para personas anémicas o con problemas cardiovasculares o pulmonares	1 hora: 30.000 8 hrs.: 10.000	gas tóxico incoloro e inodoro, ligeramente soluble en agua
Oxidantes fotoquímicos (O ₃)	heterogénea	producido por complejas reacciones fotoquímicas en la atmósfera, involucrando hidrocarburos, dióxido nítrico y luz solar	Irritación ocular y nasal y agravamiento de problemas respiratorios	1 hora: 150-200	gas azul pálido, apenas soluble en agua, inestable, de olor dulzón
Plomo	Pb	combustión de gasolina con plomo, soldadura, pintura con plomo, operaciones de fundición de plomo	Tóxico para niños y personas mayores, afecta sistemas circulatorio, reproductivo y nervioso		metal existente en una variedad de compuestos con diferentes características

Gilbert (1996), Kupchella y Hyland (1989), World Bank (1994)

Hay efectos estéticos asociados a cambios en la calidad ambiental, que se relacionan con aspectos tales como los olores, la visibilidad, el desagrado e incluso problemas de salud como malestar y dolor de cabeza. Por ejemplo la contaminación por material particulado impide una buena visibilidad en Santiago, Chile, no pudiendo verse la cordillera en un alto porcentaje de los días de invierno. Finalmente, la contaminación atmosférica puede causar daño a los monumentos históricos como estatuas y edificios. Por ejemplo la depositación ácida proveniente del SO₂ o NO_x causan disolución del calcio y desprendimiento de partículas granulares que degradan los materiales.

Impactos Globales y Regionales de las Emisiones del Transporte

Las emisiones vehiculares también tienen impactos a nivel global y regional. El principal problema de carácter global es el calentamiento global, asociado a las crecientes emisiones no naturales de dióxido de carbono (CO₂). Este gas es un producto natural del metabolismo de las plantas y animales, y es fundamental para el efecto invernadero. Este efecto ocurre cuando algunos gases presentes en la atmósfera - especialmente el vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano - posibilitan la llegada de los rayos de sol a la Tierra, pero impiden parcialmente la irradiación hacia afuera del calor producido⁸. Como resultado, este proceso natural de creación de CO₂ permite que la temperatura del planeta se mantenga a un nivel promedio de +15°C (y no -15°C como sucedería en ausencia de atmósfera).

Cuadro 2: Superación de normas de calidad de contaminantes asociados al transporte.

Contaminante	Importancia de superación de normas
Material particulado suspendido	Normas de referencia de la OMS se exceden por un factor de más de dos en 17 de 21 ciudades consideradas en un estudio; en otro 20 de 37 ciudades las excedían, y solo 5 cumplían con las normas diarias y anuales; la EPA ha designado en 1994 82 zonas en no-cumplimiento de normas.
Monóxido de carbono (CO)	Normas para periodos cortos se violan a menudo en muchas zonas urbanas de Europa y el sur de California; en Estados Unidos, la EPA designó 36 zonas en no cumplimiento de normas en 1994, con Los Angeles clasificado como un problema serio.
Oxidos de nitrógeno (NO _x)	Grandes ciudades y zonas metropolitanas de Europa, EEUU y Japón continúan experimentando episodios con valores altos que superan la norma; concentraciones que exceden las normas de referencia de la OMS por un factor 2-4 han sido medidos en megaciudades no-OCDE.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Las emisiones y superación de normas varían de acuerdo al componente. Se observan niveles superiores a cero de los cancerígenos 1,3 butadieno y benceno en los EEUU.
Plomo (Pb)	Personas en aproximadamente un tercio de las ciudades del mundo están expuestas a niveles que exceden la referencia fijada por la OMS.
Ozono troposférico (O ₃)	El valor de referencia para exposiciones de corta y larga duración se superan frecuentemente en grandes zonas de los países OCDE europeos, Norte América y Japón; La EPA designó 77 zonas en no cumplimiento en 1994.

⁸ Ver Mackenzie, 1994

Cuadro 3: Contribución del transporte a la contaminación en ciudades seleccionadas

Ciudad	Año	Porcentaje atribuible a fuentes móviles				
		Monóxido de carbono	Hidrocar -buros	Oxidos de nitrógeno	Dióxido de azufre	Material particulado
Atenas	1990	100	79	76	8	13
Beijing	1989	39	75	46	X	X
Bombay	1992	X	X	52	2	24
Budapest	1987	81	75	57	12	X
Cochin, India	1993	70	95	77	X	X
Colombo, Sri Lanka	1992	100	100	82	94	88
Delhi	1987	90	85	59	13	37
Lagos, Nigeria	1988	91	20	62	27	69
Los Angeles	1990	98	62	84	68	11
Ciudad de México	1990	97	53	75	22	35
Santiago	1993	95	69	85	14	11
sao Paulo	1990	94	89	92	64	39

Las crecientes emisiones de dióxido de carbono provenientes del uso de vehículos motorizados movidos a gasolina y diesel estarían superando la capacidad asimilativa del ambiente, agudizando el efecto invernadero, y contribuyendo de manera significativa al calentamiento global. Existe cierto consenso entre los científicos de que como consecuencia la temperatura de la Tierra aumentaría entre 1,5 y 4,5 grados centígrados hacia la mitad del próximo siglo. Los efectos de este aumento en temperatura incluyen mayores y más agudas variaciones climáticas, aumento en el nivel de los mares, expansión de desiertos, y destrucción de plantas, animales y ecosistemas incapaces de adaptarse a estos cambios⁹.

A pesar de los progresos tecnológicos de las últimas décadas relativos a la eficiencia en el uso de combustibles y consecuente reducción de emisiones de CO₂, la dinámica del crecimiento del parque de vehículos motorizados, en su uso y en el tamaño y potencia de los vehículos, ha más que compensado estas reducciones. Entre 1973 y 1988 las emisiones de CO₂ aumentaron en 30%, llegando a 773 millones de ton; mientras que las de otras actividades disminuyó en 2% llegando a 2 millones de ton. en el mismo periodo. Se espera además que las emisiones de CO₂ aumentarán en las próximas décadas, en gran parte debido a crecientes emisiones del transporte, por lo que un importante grupo de expertos convocados por las Naciones Unidas han determinado que es necesario reducir en forma inmediata las emisiones totales en 50-70% (OCDE, 1996-a, p.14).

Cabe señalar otros dos impactos globales del transporte terrestre. Uno es la descarga de metano -o gas natural- durante su extracción, transmisión y uso como combustible para el transporte. El metano es 20 veces más activo que el CO₂ “por lo que un aumento en su uso puede ser causa de preocupación” (ibid, p. 14). Debido a su abundancia y limpia combustión, se prevé un aumento del uso de este combustible.

⁹ También se ha sugerido que puede haber impactos positivos tales como un aumento en la producción de alimentos en algunas partes del mundo (WHO, 1992).

El segundo nace del uso de clorofluorocarbonos (CFCs) en los sistemas de aire acondicionado de los vehículos, y la casi inevitable descarga de este gas hacia la atmósfera durante su uso y mantención. Los CFC afectan negativamente la capa de ozono. En efecto, este gas reacciona en la estratosfera con el ozono presente allí que impide el paso de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol. Como resultado disminuyen las concentraciones de ozono y pasa una mayor cantidad de radiaciones a la tierra con una secuela de efectos negativos sobre vegetación, fauna, ecosistemas y humanos (en particular cáncer y quemaduras a la piel). Las mayores radiaciones inciden también en un mayor calentamiento global. Afotunadamente el uso de este gas está siendo eliminado, sin embargo los sistemas de aire acondicionado producidos antes de 1993 continúan utilizando cantidades substanciales de CFC-12.

El cuadro 4 presenta un resumen de los efectos locales, regionales y globales del transporte.

Debido a la importancia de las emisiones vehiculares los países de la OCDE han fijado metas de reducción para este sector en plazos que varían entre diez años y más de 30 años. Se consideran metas de reducción de entre 5% y 25% para el CO₂, entre 24% y 75% para los COV, y de entre 30% y 80% para los NO_x (OCDE, 1996-b).

Cuadro 4. Emisiones del transporte: Efectos locales, regionales y globales.

Contaminante	Tipo de Impacto					
	Local	Regional		Global		
	Altas concentraciones	Acidificación	Oxidantes Fotoquímicos	Efecto Invernadero Indirecto	Efecto Invernadero Directo	Destrucción capa de ozono
Material particulado suspendido	X		X			
Monóxido de carbono (CO)	X		X	X		
Oxidos de nitrógeno (NO _x)	X	X	X	X		X
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	X		X	X		
Plomo (Pb)	X			X		
Ozono troposférico (O ₃)		X	X	X		
Metano (CH ₄)					X	
Dióxido de carbono (CO ₂)					X	
Clorofluorocarbonos (CFCs)					X	X

Fuente: OCDE (1996-a), p. 13, cuadro 5.

Contaminación Acústica

El transporte ha sido identificado como la principal fuente de contaminación acústica. El ruido provocado por los vehículos se debe tanto al funcionamiento de los motores (especialmente los diesel, en particular durante los ciclos de aceleración) como por roce entre neumáticos y pavimento (principalmente a altas velocidades).

En países de la OCDE, 16% de la población está expuesta a niveles de ruido del transporte (65dB(A)) capaces de perturbar severamente el sueño y la comunicación, contribuyendo así a enfermedades ; otro 50% está expuesta a niveles “insatisfactorios” de ruido debido al transporte. El cuadro 5 presenta el número de personas afectadas por un nivel ruido que se considera que afecta la salud (65 dB) en diversos países. Como consecuencia, en Europa el problema del ruido originado en el transporte es frecuentemente considerado de mayor preocupación que la contaminación atmosférica del transporte (OCDE, 1996-b, p. 19).

Cuadro 5: Personas Afectadas por Niveles de Ruido Alto en Países de la OCDE

País	Canadá	EEUU	Francia	Alemania	Italia	Japón	OCDE
Población afectada por ruido > 65dB (en millones)	2	17	9	8	10	37	120

OCDE (1991), cuadro 17, p. 217 .

Uso de Recursos

Los sistemas de transporte actuales requieren una gran variedad de insumos -concreto, acero, plásticos, metales, etc.- pero el de mayor significación es el petróleo. El transporte es responsable del uso del 50% de los derivados del petróleo (60% en países OCDE) y es el sector de más rápido crecimiento en el uso de este combustible. El 99% de la energía utilizada en el transporte se basa en petróleo. Este uso está creciendo en todo el mundo debido tanto a crecientes demandas del transporte como al proceso de industrialización en países en desarrollo (OCDE, 1996-a, p. 11). En consecuencia, la proporción del total de petróleo consumido por el transporte ha aumentado. Al considerar la característica de no-renovable de este recurso y el hecho que se usa a tasas mayores que el desarrollo de sustitutos renovables, existe una preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de estas tendencias¹⁰.

Por otra parte, al considerar toda la cadena de producción, desde la extracción de los minerales requeridos hasta el producto final, se requieren 20-30 toneladas de material para producir un vehículo de 1 tonelada (OCDE, 1996-a, p.18).

Uso de suelos

¹⁰ Cabe señalar sin embargo que estas aprehensiones no son compartidas por todos los expertos en la materia ya que las reservas probadas alcanzarían para entre 35-50 años, y es probable que a medida se vayan necesitando más recursos se descubran más (OCDE, 1996-a, p.11).

El transporte terrestre basado en vehículos motorizados, y particularmente el automóvil privado, consume considerables extensiones de suelo. Por ejemplo, se estima que un 5% del suelo de la ex Alemania Occidental se utiliza para caminos. En las zonas urbanas se estima que entre 25-35% del suelo se utiliza para calles. Al incorporar el suelo utilizado para estacionamientos y otros fines auxiliares, este valor aumenta notablemente, llegando por ejemplo, a 65% en Los Angeles e Indianápolis, y 40% en Toronto. El suelo consumido en infraestructura para el transporte urbano difícilmente puede revertirse hacia estos otros usos, constituyéndose en área exclusiva para la circulación vehicular e imposibilitando usos alternativos (OCDE, 1996-b, p.19-20).

Por otra parte, la utilización creciente del automóvil para satisfacer a la demanda de las personas por movilización es vista como responsable, en buena medida, por los actuales excesos en términos de extensión de las ciudades y separación de las actividades. Esta extensión se asocia con desarrollos en baja densidad que a su vez se asocian a altas tasas de compra y utilización de automóviles. Así, se observa que aumentos substanciales en la densidad residencial (de 100 a 10,000 personas por km²) se asocian a incrementos en solo dos a tres veces en la cantidad total de viajes, y de solo tres a cuatro veces en el uso total de automóviles (OCDE, 1996-a, p.19). De esta forma el crecimiento urbano en baja densidad lleva a mayores emisiones al aumentar el número y largo de los viajes.

Desde una perspectiva de recursos, el crecimiento en extensión disminuye la cantidad de terreno disponible para usos agrícolas y recreativos. Por ejemplo en Toronto entre 1966 y 1986, 33 mil ha. de excelente calidad agrícola se convirtió a uso urbano. Además, la infraestructura vial para el transporte urbano produce un efecto barrera a la circulación de personas. Desde una perspectiva ambiental, la pavimentación lleva a una rápida evacuación de las aguas hacia los cursos receptores, en vez de su lenta dispersión a través del sistema natural de drenaje. Finalmente, la pavimentación puede absorber o reflejar cantidades substanciales de radiación solar, cambiando los microclimas de zonas urbanas y suburbanas.

3. Tendencias en el Transporte Urbano que Afectan el Ambiente

Los acelerados procesos de urbanización que se desarrollan en todos los países del mundo significa que en el futuro habrán más ciudades, éstas serán más grandes, y por tanto más gente estará haciendo más viajes, y éstos serán más largos. En consecuencia, puede esperarse que los problemas ambientales antes señalados empeoren, en particular en las ciudades de países en desarrollo. En efecto, como se verá, en los países en desarrollo los factores que determinan un aumento acelerado en las emisiones por lo general tienden a ser más marcados que en países desarrollados.

Crecimiento en las tasas de motorización¹¹

¹¹ Esta sección se basa en WRI (1996, pp.82-83)

De acuerdo a estimaciones recientes, el número de automóviles crecerá de 580 millones en 1990 a 816 millones en el 2010. Las fuerzas tras este crecimiento incluyen desde factores demográficos (urbanización y aumento de la población) a factores económicos (mayores ingresos y menor precio de los vehículos), sociales (más tiempo libre, status de poseer un automóvil), y políticos (lobbies importantes y gobiernos que visualizan a la industria automotriz como una importante fuente de crecimiento económico).

La mayoría de los automóviles se concentran en los países desarrollados. En efecto, en 1993 en los países de la OCDE se concentraba el 70% de los automóviles. Estados Unidos es por lejos el país con mayor número de automóviles per capita (561 por cada 1.000 habitantes en 1993). Los países industrializados tienen altas tasas de motorización, como se observa en el cuadro 6, con un promedio de 366 en países de la OCDE . En cambio en países en desarrollo estas tasas son sustancialmente menores variando entre 67,9 en países de América Latina y el Caribe y 14,2 en Africa.

Cuadro 6: Automóviles por cada 1.000 de población en países seleccionados, 1993.

Africa	14,2
Asia del Este y Pacífico ^a	28,9
Sud-Asia	3,1
Europa del Centro y Este	71,5
Oriente Medio	44,6
América Latina y el Caribe	67,9
China	1,5
Estados Unidos	561
OCDE ^b	366

^a Excluyendo China y Japón

^b Excluyendo EEUU.

Fuente: WRI, 1996, Figura 4.1, p.82 .

Sin embargo es en los países en desarrollo y en las economías en transición que se espera el mayor crecimiento en el número de automóviles, en particular en el Este Asiático y el Pacífico. Se estima que para el año 2010 se más que duplicará el número de automóviles en países en desarrollo respecto de 1990, llegando a los 260 millones. En países desarrollados en cambio, el crecimiento será inferior a un 20% en el mismo periodo, llegando a los 560 millones de automóviles. Por cierto la mayor parte de este crecimiento se concentrará en las ciudades.

Una tendencia que se observa -y que potencia el efecto negativo sobre el ambiente de la creciente tasa de motorización- es que tanto la potencia como el peso de los automóviles ha aumentado en las últimas décadas. Con ello se reduce el impacto positivo de ganancias en eficiencia energética en los vehículos (OCDE, 1996-a, p23).

Creciente uso del automóvil

Lamentablemente las mayores tasas de motorización por lo general implican un mayor uso absoluto y relativo del automóvil. Por ejemplo, en Londres un hogar sin automóvil realiza cerca de tres viajes por día, mientras que un hogar con automóvil hace más de cinco viajes, y los dos viajes adicionales son completamente nuevos o reemplazan viajes que antes se realizaban a pie o en bicicleta (WRI, 1996, p.83). En algunos países, el número de viajes crece más rápidamente que el número de automóviles. Por ejemplo en EEUU entre 1983 y 1990 el total de automóviles aumentó en 14% mientras que el número de viajes creció en 25% y el total de vehículo kilómetros en 40%.

El automóvil es por lejos el modo de transporte preferido en países desarrollados. El automóvil explica el 80% de los pasajero-kilómetros en EEUU, 70% en varios países Europeos, y 50% en Japón (OCDE, 1996-b, p. 21). Como resultado de esta preferencia por el automóvil, la proporción del total de viajes que se realiza en automóviles es altísima: 94% en Houston (3.3% en transporte público); 78% (17%) en Los Angeles; 74% (16%) en Boston; 63% (31%) en Toronto; 58% (27%) en Bruselas; 45% (34%) en Zurich; y 38% (39%) en Londres (OCDE, 1996-c, p.255). Además, la proporción de pasajeros que utilizan transporte público en Europa ha ido disminuyendo debido a la creciente motorización (*ibid*, p.254).

En cambio en países en desarrollo el transporte público es significativamente más importante. Una alta proporción de los viajes se realiza por este medio, lo que es consecuente con las bajas tasas de motorización prevalecientes. Por ejemplo, en Sao Paulo, del total de viajes motorizados, 45% de los viajes se realizan en automóvil, y 55% en transporte público en 1995 (Governo do Estado de Sao Paulo, 1997, p.93). En Santiago, Chile del total de viajes sobre el 50% se realiza en transporte público y sólo 16% en automóviles (SECTRA, 1991, p.26). Esto es una potencialidad aprovechable desde una perspectiva ambiental. Existe la oportunidad de introducir, con poca oposición, instrumentos que reduzcan el atractivo de usar el automóvil (tarificación vial, cobros altos por estacionar, prohibición de circular en ciertas zonas a automóviles). Una vez asentado el hábito masivo de uso del automóvil, aplicar estos instrumentos sería más difícil.

Sin embargo la tendencia es hacia un creciente uso del automóvil en países en desarrollo. Así, este modo de transporte se está transformando también en la preferida en estos países. Por ejemplo, el aumento porcentual en el número de automóviles utilizados en la década del 70 y del 80 fue de: Brasil, 250% y 40%; India, 65% y 180%, Corea del Sur, 350% y 680%, Tailandia, 100% y 200%. En Sao Paulo en el año 1967 el transporte público transportaba el 68% de los viajes motorizados y el automóvil sólo un 32%. En 1995 esta diferencia había disminuído a una diferencia de sólo 10 puntos. Una estimación reciente concluye que entre 1990 y 2030 el total de vehículo kilómetros circulados por automóviles aumentará en 318% en países no OCDE mientras que este incremento será de solo 76% en países de la OCDE (OCDE, 1996-a, cuadro 2, p.9).

En consecuencia, en ausencia de políticas específicas para evitarlo, al aumentar el ingreso en países en desarrollo, se puede esperar que aumente el uso del automóvil, en

desmedro del transporte público. Esto implicará un aumento en la congestión y emisiones, y el consiguiente deterioro ambiental.

Lenta tasa de renovación del parque automotor en países en desarrollo

En las economías en transición y de países en desarrollo los vehículos se utilizan por más tiempo que en países desarrollados, prolongando así su vida útil. En consecuencia presentan una edad promedio del parque vehicular bastante alta. El cuadro 8 presenta el porcentaje de vehículos mayores de 10 años en diversos países. Claramente Japón, y en menor medida EEUU, renuevan sus vehículos en periodos relativamente cortos, mientras que los países en desarrollo los mantienen en circulación por periodos largos de tiempo. Así, la edad promedio de los vehículos en EEUU es de 7.6 años, mientras que en las Repúblicas Federales Checa y Eslovaca esta es de 15-17 años, en Polonia de 16-17 años y Bulgaria 13-15 años (Walls, 1993, p.33).

Cuadro 8: Porcentaje de Vehículos con Edad Superior a 10 Años en Países/Ciudad Seleccionados

País/Ciudad	Porcentaje que supera 10 años
Repúblicas Checa y Eslovaca ^a	48%
Hungría ^a	42%
Sao Paulo ^b	46%
Estados unidos ^a	30%
Japón ^c	9%

^a Walls (1993, p. 33)

^b Governo do Estado de Sao Paulo (1997, p.88)

^c Krupnick (1992, p.27)

La mayor edad del parque y su lenta renovación tienen consecuencias desde una perspectiva ambiental. Primero, los vehículos viejos contaminan sustancialmente más que vehículos nuevos, tanto por que los estándares con que fueron construidos eran menos exigentes como por el hecho que su mantención es insuficiente. En particular, en los países en desarrollo, los vehículos antiguos son no catalíticos. El catalizador permite reducir en forma importante las emisiones gaseosas de los automóviles como se discute más adelante. Segundo, circulan una gran cantidad de vehículos viejos. Al tener una proporción alta de vehículos no catalíticos, las emisiones de la flota vehicular son significativamente más altas que en flotas con tecnologías más modernas. Tercero, el proceso de transformación de la flota a vehículos limpios es lento, por lo que el problema ambiental se reduce a una tasa menor. Por otra parte, al ser los vehículos en su gran mayoría antiguos y contaminantes, se presenta la oportunidad en países en desarrollo, de reducir significativamente las emisiones desde estas fuentes al renovar en forma acelerada el parque. En países desarrollados la renovación del parque no implica mejoras substanciales en cuanto a emisiones ya que el cambio tecnológico asociado a ésta es menor.

Desarrollo urbano en extensión

Un número creciente de ciudades en el mundo parecen estar desarrollándose de una manera que aumenta su dependencia del automóvil. Se observa una mayor dispersión en muchos tipos de ciudades diferentes, desde la densa y centralizada europea como Madrid, París y Zurich, a capitales de países en desarrollo tales como Seúl y Buenos Aires (WRI, 1996, pp. 83-84). Esta forma de desarrollo urbana ha sido típica de ciudades de Norteamérica con abundantes tierras y bajos costos de transporte individuales. Sin embargo también se observa en ciudades de países de ingreso medio como Sao Paulo (ibid).

El automóvil permite una creciente extensión urbana y ésta genera una mayor demanda por esa forma de transporte, magnificando así sus efectos adversos (OCDE, 1996-b, p. 20). En efecto, el uso del automóvil produce expansión de las áreas urbanas¹², ocupación de suelos y crecimiento en el largo de los viajes, implicando mayor insumo de energía y tiempo, además de mayor contaminación. Además, a partir de la utilización masiva del transporte privado en automóvil se produce el fenómeno de suburbanización: desarrollo de centros alejados del centro tradicional. Esto produce un aumento en el largo de los viajes ya que se viaja desde más lejos al centro tradicional. Además aumenta el número de viajes entre suburbios, los que por lo general se realizan por vías altamente congestionadas, no diseñadas para altos flujos. Finalmente, la suburbanización provoca un drástico cambio de comportamiento en términos de utilización del automóvil: el habitante del suburbio utiliza mucho más intensamente su auto para realizar un número mucho más alto de viajes por día. Por ello, los sistemas de transporte público, al favorecer ciudades más compactas y menor generación de viajes, además de viajes más cortos, tienden a tener un menor impacto ambiental.

Un ejemplo de esto último es el de la ciudad de Toronto. En el área central, la densidad poblacional es de 7340 habitantes por km², 49% de los hogares cuentan con un automóvil que recorre diariamente una distancia promedio de 7,5 km por día y las emisiones de CO₂ per capita son de 1710 gramos diarios. En los suburbios, sin embargo, la densidad se reduce a 1830 habitantes por km², 96% de los hogares poseen un auto que recorre un promedio diario de 25,6 kilómetros, con un total de emisiones por los viajes alcanzando a 5200 gramos por persona/día (OCDE, 1996-b, p. 20).

Al hacerse más dispersas las ciudades, el costo de construir y operar sistemas de transporte público se hace prohibitivo. Además un patrón residencial disperso hace que el sistema de transporte público sea menos conveniente en términos de tiempo y costo al usuario promedio. Así, en Nueva York, ciudad en la que tradicionalmente ha sido alta la tasa de pasajeros que utilizan transporte público, el número de viajes en este medio ha disminuido de 4.8 millones por día en 1980 a 4.3 millones por día en 1992, a pesar de 10 años de inversiones para mejorar el sistema (WRI, 1996, p. 84)

4. Transporte y Medio Ambiente en Santiago: Estado Actual, Tendencias y Escenarios Potenciales

¹² Por cierto influyen además el crecimiento de la población y desarrollo del mercado inmobiliario.

Santiago es un buen ejemplo de una ciudad con serios problemas de calidad del aire en el cual las tendencias del sistema de transporte actúan como un freno para el logro de las mejoras requeridas. En efecto, como se discute a continuación, el transporte es la principal fuente de emisiones directas e indirectas en la ciudad. A pesar de la aplicación de un Plan de Descontaminación a partir de 1990, las emisiones no han disminuido. Más aún, las proyecciones indican que la situación tenderá a empeorar y, a pesar de la aplicación de medidas orientadas a revertir esta situación, las reducciones que se lograrán distan de las requeridas para cumplir con las normas de calidad buscadas. En consecuencia, el actual desarrollo del sistema de transporte no es sustentable desde una perspectiva ambiental.

Santiago: ciudad con graves problemas de calidad del aire y de contaminación acústica

La contaminación atmosférica de Santiago supera en forma rutinaria las normas primarias de calidad del aire establecida para los diferentes contaminantes¹³. La figura 1 muestra la frecuencia con que se superó en el año 1995 la norma para cada uno de los contaminantes no anuales. Las normas de CO, y `particulado se superan alrededor de un 15% de los días del año, mientras que la de ozono la supera casi un 40% de los días del año.

La figura 2 presenta los valores máximos medidos en Santiago durante el año 1995, como porcentaje de la norma que representan. Se observa que el material particulado, el PM-10 (particulado de menor tamaño), el CO (8 horas) y el ozono exceden su norma por márgenes que van de 2 a 2.7 veces. Esto sitúa a Santiago entre las ciudades más contaminadas del mundo. Por otra parte, el promedio anual de NO₂ está cerca de llegar a su norma. En consecuencia, la ciudad de Santiago ha sido declarada recientemente zona saturada¹⁴ por material particulado (PTS), PM-10, ozono y monóxido de carbono (CO), y latente por NO_x.

Esta contaminación se distribuye tanto espacialmente como en el tiempo. Los mayores problemas se observan en el centro de la ciudad. En efecto, el SO_x se concentra en algunas zonas industriales y el centro, y el NO_x y el CO en el centro de la ciudad y cerca de arterias principales. Las mayores concentraciones de partículas en suspensión, provenientes de polvo de calles y procesos de combustión se concentran también en la zona céntrica, y además en el poniente de la ciudad¹⁵. El ozono en cambio se concentra en la zona oriente y nororiente de la ciudad donde se encuentra la población de mayores recursos (Las Condes, Lo Barnechea)¹⁶.

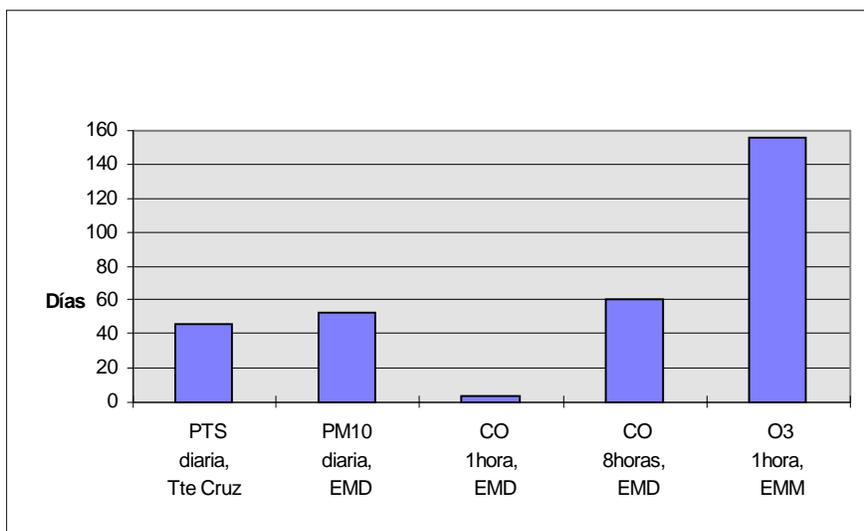
¹³ Las normas existentes son para partículas totales suspendidas, SO₂, ozono, NO₂ y CO.

¹⁴ Decreto 131 del 12 de Junio de 1996.

¹⁵ CONAMA R.M., Informe final, Proyecto de cooperación Chile-Suecia, Junio, 1996.

¹⁶ Hugo Romero et al, 1995, p.4.

Figura 1: Días de Superación de Norma



Fuente: CONAMA RM. (Abril 1996)

Nota: PTS medido en estaciones de la Red de Vigilancia, se superó un total de 45 días sobre 91 días de muestra.

Figura 2: Porcentaje de Norma, Valores Máximos para cada Caso.



Fuente: CONAMA RM. (Abril 1996)

Nota: PTS medido en estaciones de la Red de Vigilancia.

Finalmente cabe señalar la distribución temporal de los contaminantes determinadas por el clima y la topografía de la ciudad. En efecto, el material particulado supera las normas en invierno, fundamentalmente debido al fenómeno de inversión térmica que dificulta la dispersión y difusión de los contaminantes. Esta actúa como una gran “tapa” sobre la ciudad, que en las mañanas frías de invierno impide a los contaminantes subir más allá de unos cientos de metros. Adicionalmente, la dispersión se ve obstaculizada por las cadenas de montañas que rodean la ciudad y la baja velocidad de los vientos en las mañanas y tardes de invierno, coincidiendo con los peak de tráfico¹⁷. El ozono en cambio, es un contaminante secundario proveniente de reacciones fotoquímicas en que intervienen los NOx y los COV, y que requiere de radiación solar, razón por la cual se produce de manera predominante en los meses de primavera y verano.

Santiago también presenta niveles altísimos de contaminación acústica. Un estudio realizado en 1989¹⁸ en Santiago concluyó que el 65% de los 134 distritos con uso de suelo exclusivamente residencial o mixto residencial y comercial es inadecuado para uso residencial de acuerdo a criterios de ruido utilizados por el Department of Housing and Urban Development de los Estados Unidos. A partir de un indicador algo más elaborado¹⁹, se estableció que cerca del 50% de estos distritos estaba contaminado acústicamente. Además, no existe ningún distrito cuyas vías principales sean aptas para uso residencial en viviendas de construcción normal, es decir sin tratamiento acústico especial.

El riesgo de pérdida auditiva es significativo. Cerca de 50 mil personas están expuestas a un riesgo alto de pérdida auditiva. Un 21% de la población de la ciudad está expuesta a niveles de ruido que representan un riesgo moderado de pérdida auditiva, y un 57% a niveles de ruido que representan una pequeña probabilidad de pérdida auditiva. Además cerca del 70% de la población tiene un riesgo alto de ver afectado su sueño debido al nivel de ruido nocturno.

Lo anterior implica que en 1989 el 41% de la población incluida en el área de estudio -aproximadamente 1,1 millones de personas- está afectada por un grado de molestia significativo debido a la contaminación acústica²⁰. Considerando el significativo aumento de la circulación vehicular y congestión en los últimos siete años, no cabe duda que la situación es hoy aún peor.

La importancia del sistema de transporte en los problemas ambientales

Dentro del panorama anterior, el sistema de transporte es por lejos el que más contribuye -directa o indirectamente- a los actuales niveles de contaminación. En efecto, en el inventario de emisiones de 1994 se estima que en forma directa -es decir por tubo de escape- las

¹⁷ Ibid, p10-11.

¹⁸ Intendencia Metropolitana, (1989).

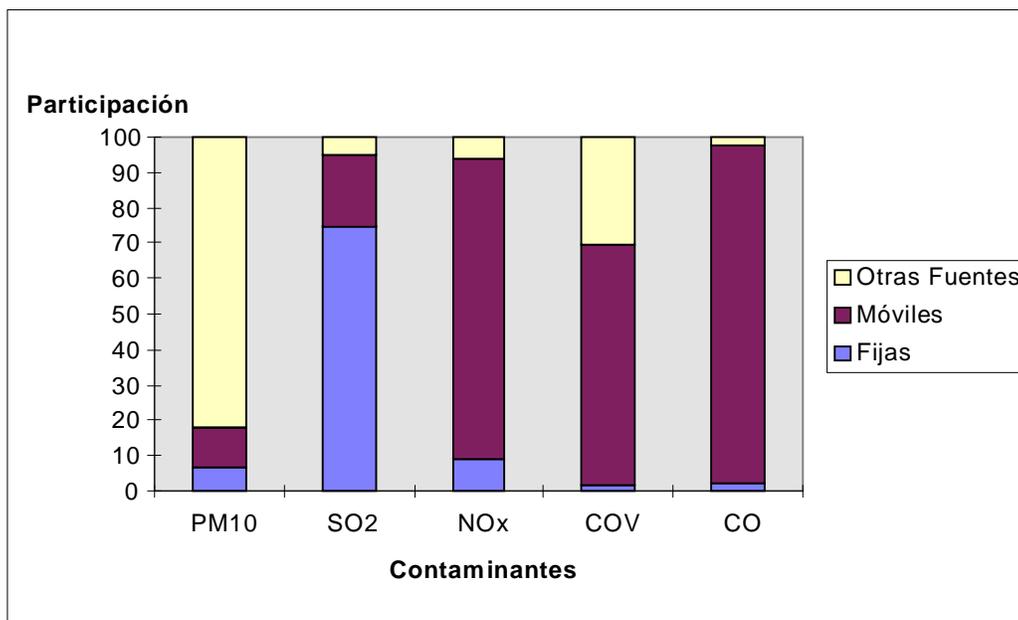
¹⁹ Nivel distrital compensado. Considera las variaciones espaciales y temporales reales del nivel sonoro a que están expuestos los habitantes de un distrito (ibid, p. 36).

²⁰ Intendencia Metropolitana, (1989), p.102

fuentes móviles son responsables del 86% de las emisiones anuales de NOx (26 mil ton/año); del 67% de las de COV (37 mil ton/año); del 96% del CO (300 mil ton/año); del 21% del SO₂ (4 mil ton/año); y del 10% de las PM-10 (2 mil ton/año). Estos resultados se presentan en la Figura 3²¹. Considerando que los NOx y COV son precursores del ozono, es claro que las fuentes móviles son las grandes responsables de este contaminante y del CO.

²¹ CONAMA, R.M., (Junio 1996), p. 98.

Figura 3: Participación de Fuentes en Emisiones Totales. Escenario 1994.



Fuente: CONAMA R.M., (Junio 1996)

Las emisiones directas no son un buen indicador de las emisiones totales de PM-10 del transporte, estimándose que la real contribución es mucho mayor que la que se deduce de su 10% de contribución directa. La razón de ello es que de las calles pavimentadas y sin pavimentar se origina una emisión de 18 mil ton/año de PM-10, 77% del total emitido de este contaminante. Este polvo se levanta precisamente por la circulación vehicular. En efecto, en Santiago existen sobre 500 km. de calles de tierra urbanas, y casi 600 km. de pasajes no pavimentados²². Este enorme inventario de calles sin pavimentar es el origen de una “cadena de transporte de sedimentos que, adheridos a los vehículos, llegan hasta las calles pavimentadas. Allí, los vehículos que transitan completan la tarea, encargándose de secar el sedimento, molerlo, dispersarlo a la atmósfera y recircularlo por largo tiempo”^{23,24,25}. Si se agregan estas emisiones a las directas del transporte se concluye que este sistema es responsable del 87% del total de las emisiones de particulado.

Respecto de las emisiones relativas de cada modo de transporte, cabe señalar que -a pesar de existir bajas tasas de ocupación promedio en el transporte público- este es bastante menos contaminante por pasajero-kilómetro transportado (PKT) que el automóvil, para el CO y los COV, como se aprecia en el cuadro siguiente. Los buses son más contaminante en cuanto a sus emisiones directas de particulado, sin embargo al considerar las emisiones

²² Escudero Juan, (Junio 1996), p. 35.

²³ Ibid, p. 35.

²⁴ Además, la formación de aerosoles secundarios a partir de los óxidos de azufre son una fuente importante de PM-10.

²⁵ Un análisis completo debiera incorporar además las emisiones por construcción de infraestructura para el transporte.

indirectas de particulado levantado por la circulación, los automóviles son significativamente más contaminantes²⁶.

Cuadro 9: Emisiones Directas por Pasajero - Km. para Santiago

AUTOMÓVILES	Factores de Emisión por tubo de escape (g/PKT)				
	PM ₁₀	CO	NO _x	COV	SO _x
Catalíticos	0.007	2.077	0.156	0.160	0.027
No Catalíticos	0.040	26.422	1.097	2.345	0.029
BUSES					
Post 1993	0.018	0.078	0.192	0.028	0.032

Fuente: Elaboración propia en base a cuadros 5.1 y 5.3.

Por otra parte, la fuente de mayor importancia en el ruido es el flujo vehicular. Del cuadro 10 que presenta las principales fuentes detectadas en zonas que superan los 75 dB(A), se desprende que cerca de un 60 % de los casos se explica por tráfico. En particular para Santiago los microbuses son los principales responsables de los altos niveles de ruido²⁷. Dos estudios recientes permiten ilustrar este punto. En el primero²⁸, se midieron los niveles de ruido diferentes vías de la ciudad, determinándose que los mayores niveles de ruido de tráfico corresponden a aquellas calles caracterizadas por un flujo mixto compuesto de buses, automóviles y motos. Otro estudio²⁹ aprovechó de medir el nivel de ruido percibido en un día de paro de buses y determinó que el nivel de ruido equivalente disminuyó en todos los puntos medidos aproximadamente en 10 dB(A) respecto de un día normal. Esto fue percibido por la gente que caminaba por la vereda como la mitad del ruido de un día normal en esos puntos³⁰.

Cuadro 10: Fuentes Generadoras de Altos Niveles de Ruido.

Fuente de Ruido	>75 dB(A)	>80 dB(A)
Flujo de Alta Densidad	46,0%	37,5%
Flujo de Alta Rapidez	12,0%	25,0%
Tránsito Aéreo	13,8%	12,5%
Recreación	6,3%	12,5%
Trenes	5,3%	0,0%
Casos Especiales	14,8%	12,5%

Fuente: Intendencia Metropolitana, (1989), p.103.

²⁶ En calles pavimentadas los automóviles son 20 veces más contaminantes emitiendo 1,33 g/PKT, y los buses 0,06 g/PKT.

²⁷ Collados E., (Noviembre 1996).

²⁸ Larrea Sergio, (Valdivia - Chile, 1995).

²⁹ Santana Roberto, (1995), antecedentes proporcionados en entrevista personal.

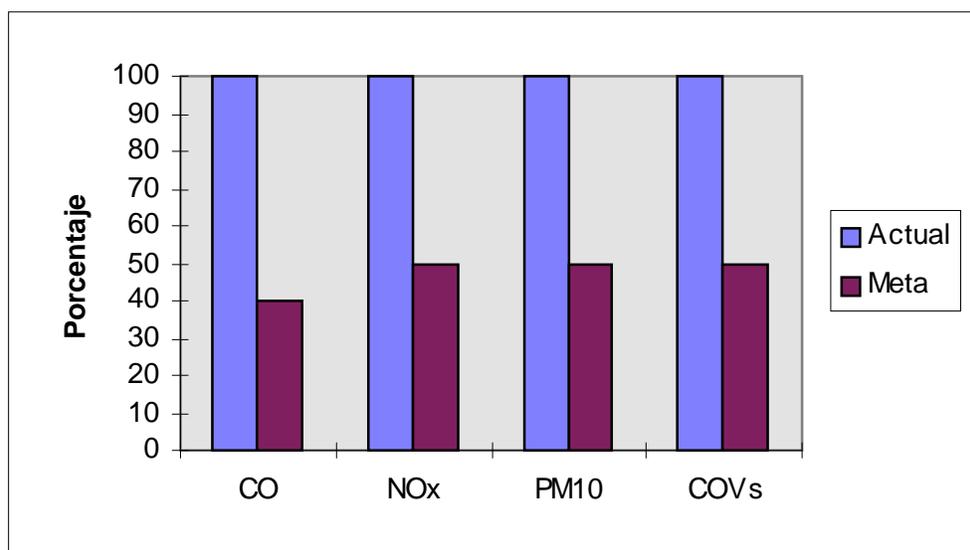
³⁰ Nota: Estos resultados no pueden extrapolarse, siendo específicos a la metodología y condiciones de medición.

Reducción de emisiones requeridas en el sistema de transporte de Santiago

A partir del grado en que se exceden las normas para cada contaminante, es posible establecer, en primera aproximación, el monto en que deben reducirse las emisiones vehiculares de los mismos. En efecto es un supuesto aceptable el asumir que las reducciones directas de emisiones de las fuentes móviles se traducirán en reducciones semejantes en cuanto a las concentraciones atribuibles a ese sector. De esta forma, si las emisiones de CO del sector se reducen a la mitad, también lo harán las concentraciones respectivas. Se obtiene con ello una idea del orden de magnitud del esfuerzo a realizar.

Aplicando lo anterior a los contaminantes en los que se supera la norma se obtiene una guía de las reducciones en emisiones requeridas. El CO supera la norma en 2,5 veces en la peor estación receptora, y las fuentes móviles son responsables del 96% de estas emisiones. Por tanto una reducción del 60% de parte de estas fuentes permitiría cumplir la norma en esta estación. A partir de experiencias en otros países³¹, CONAMA R.M. estima que es necesario disminuir las emisiones de NOx y COV en 50% para obtener las reducciones de ozono requeridas. Considerando que el 86% de las emisiones de este contaminante provienen de fuentes móviles, se puede concluir que estas fuentes deberán reducir sus emisiones en una proporción similar. El PM-10 duplica su norma por tanto es necesario reducir a la mitad las emisiones directas e indirectas. En consecuencia, las reducciones requeridas en las emisiones de cada contaminante se observan en la figura siguiente. Queda claro que es necesario reducir éstas del orden de un 50% si se quiere alcanzar las metas ambientales especificadas para la ciudad.

Figura 4: Reducciones de Emisiones Requeridas en el Sistema de Transporte por Contaminante para Cumplir con las Metas Ambientales



Fuente: CONAMA R.M., (Abril 1997), p. 5-1.

³¹ CONAMA, R.M. (Abril 1997), p. 5-2.

Tendencias observadas: un freno para el logro de mejoras ambientales

La problemática ambiental descrita tiene una larga historia. La "libertad de recorridos" del transporte público decretada en 1975 había significado una completa desregularización y desreglamentación del sector, "que había caído enteramente bajo el control de un cartel empresarial que controlaba los precios y arbitraba la competencia. Se había producido un exceso de capacidad estimado en el rango de 35 a 40%, mientras los buses y taxibuses exhibían un escandaloso nivel de obsolescencia y deterioro. Las emisiones de humo visible eran tan notorias, que resultaba evidente la necesidad imperiosa de una intervención fuerte del Ministerio de Transporte" (Escudero, 1996, p. 16). La única medida para controlar las emisiones de automóviles fue el establecimiento en 1986 de la revisión técnica obligatoria. Sin embargo se hacía con escaso control y por tanto con poca efectividad. Además la información sobre calidad del aire se no se hacía pública.

En 1990 el gobierno democrático tomó medidas para enfrentar el problema de raíz. Estableció para ello un Plan Maestro que para el aire planteaba reducir el nivel de emisiones de manera estable y permanente a niveles considerados satisfactorios para proteger la salud de los habitantes de la ciudad. Este plan se traducían en medidas de corto, mediano y largo plazo que se debían emprender en los campos de transportes, servicios urbanos, industrias, establecimientos, residencias y empresas de la construcción. Esto, en conjunto con importantes iniciativas sectoriales orientadas a poner este sistema bajo control, permitieron significativos logros. En transporte público se impusieron medidas tecnológicas y de gestión, incluyendo entre otras: el retiro obligatorio de las 2.600 máquinas más viejas, de las 13.000 que componían esta flota; normativas crecientemente exigentes para las emisiones de buses nuevos y la obligación de incorporar en ciertos recorridos estos buses³²; lo que implicó una renovación casi completa de la flota en el último quinquenio; mejora significativa en la revisión técnica y fiscalización en la calle. Para automóviles la medida más importante ha sido la obligación, a partir de 1992, de que todo vehículo nuevo cumpla con exigentes normas de emisiones de gases, lo que en la práctica obliga al uso de convertidor catalítico. Además se mejoró notablemente el sistema de revisión técnica y fiscalización. Finalmente se estableció un Programa extraordinario de pavimentación para reducir el total de calles no pavimentadas -fuente importante de PM-10-, y un Plan de lavado de calles en varias comunas de la ciudad.

A pesar de lo significativo de las medidas, solo se han logrado resultados modestos en cuanto a la calidad ambiental. El significativo esfuerzo emprendido ha permitido mantener el "status quo" pero no avanzar hacia el cumplimiento de las metas de calidad establecidas para la ciudad. Así, las mejoras básicamente tecnológicas llevadas adelante han permitido "una especie de empate" entre el crecimiento de las actividades y su consiguiente demanda sobre el sistema de transporte, y las reducciones en emisiones unitarias que han permitido mantener los niveles de contaminación. Por cierto que en ausencia de estas medidas, la calidad del aire de la ciudad sería hoy absolutamente inaceptable.

³² Se aprovechó de incluir en el proceso de licitación de recorridos una cláusula al respecto.

El problema de fondo es que las medidas no han reducido las tendencias que llevan a un incremento en las emisiones de este sistema: crecimiento en las tasas de motorización, mayor uso del automóvil, circulación de vehículos antiguos y crecimiento urbano. En efecto, la tasa de motorización en Santiago está creciendo a tasas significativas³³. Entre 1977 y 1991 el número de vehículos por cada 1000 personas creció en casi 50% (Zegras, 1996, p.10). En solo cinco años, entre 1990 y 1994 el parque automotor creció en 32% - correspondiente a una tasa de 7% anual-, llegando a una flota de 550 mil vehículos (CONAMA, 1997, p. 2-9). Se estima que, de mantenerse los aumentos en el ingreso del país, este sector seguirá creciendo a tasas cercanas al 10% anual. Con ello se llegaría en el año 2000 al millón de vehículos en la ciudad (Zegras, 1996, p.11).

El impacto de la creciente motorización sobre el uso del automóvil queda reflejado en las estadísticas de consumo de combustible de la ciudad. La tasa anual de crecimiento de las ventas de gasolinas es de un 8.1%, con un aumento de 47.5% acumulado entre 1990 y 1994. Esta tasa es similar al crecimiento en la flota vehicular, lo que refleja la alta preferencia de los habitantes de Santiago por viajar en vehículos privados, una vez que se lo compran³⁴. Otro antecedente en este sentido es que el incremento en 50% de la tasa de motorización entre 1977 y 1991 coincidió con un aumento de 63% en la proporción total de viajes realizados en automóvil³⁵.

Lo anterior implica que un creciente número de personas preferirá realizar sus viajes en automóvil, en desmedro de otros medios, en particular transporte público. En 1991, sólo el 16% del total de los viajes se realizaban en automóvil y sobre el 50% en transporte público. Sin embargo se estima que en la actualidad sobre el 20% de los viajes se realiza en automóvil (Zegras, 1996, p.11), y -si la historia es un buen antecedente- esta tendencia aumentará al disponer más gente de automóviles y no disponer de una alternativa equivalente en transporte público.

Por otra parte cabe señalar que cerca de la mitad de los automóviles de la ciudad tiene diez o más años. La tasa de renovación vehicular es extremadamente lenta, estimándose que solo un 2% de los vehículos antiguos sale de circulación cada año³⁶. Esto le da una gran inercia al sistema en cuanto a emisiones, ya que aun cuando entran vehículos nuevos menos contaminantes, se mantienen en circulación los antiguos de emisiones unitarias altas.

La tendencia a una creciente motorización está estrechamente relacionada con otras dos observadas : la expansión de la “mancha urbana” y las suburbanizaciones. La ciudad ha continuado expandiéndose sobre sus bordes. A pesar de las nuevas tendencias impulsadas en el sentido de remodelar viejos barrios, el dinamismo de crecimiento de la ciudad no fue

³³ Sin embargo, se mantiene en un nivel relativamente bajo para niveles internacionales (menor a 100 veh/1000personas).

³⁴ Es necesario ser cuidadosos con estos antecedentes sin embargo ya que en similar periodo el parque de taxis se duplicó, lo que conlleva un aumento significativo en el consumo de gasolina.

³⁵ Zegras, 1997, p.11.

³⁶ Antecedente entregado por el Director Técnico de CONAMA R.M. .

precisamente en sentido vertical. En estos cinco años, la "mancha urbana" aumentó de 55.000 hectáreas en 1990 a 65.000 hectáreas. Se trata de zonas ocupadas y parcialmente construidas. Con ello se abren nuevas calles, las cuales al menos durante un tiempo son de tierra y contribuyen a aportar por tanto a la generación de Material Particulado.

Esta expansión implica además un aumento en las distancias de transporte existentes entre viviendas y lugares de trabajo, estudio o desplazamiento, y por consiguiente, se extienden también las distancias o largo medio de los recorridos intercomunales de la locomoción colectiva. Los recorridos de micros van siguiendo el borde de la ciudad, en una tendencia que va alargando considerablemente los recorridos.

Pero en Santiago no sólo se construye en los bordes sino además hay una tendencia a emigrar hacia el área suburbana. Allí se ha dado la modalidad de convertir terrenos agrícolas en parcelas de agrado y zonas de viviendas suburbanas permanentes. Las consecuencias ambientales de estas decisiones son importantes. Significan que esas personas y los vehículos que las transporten van a recorrer distancias mucho más grandes, y que probablemente, dado el nivel de ingresos de ese sector, cada miembro adulto de la familia tendrá un auto propio. Se ejercerá una fuerte presión sobre áreas que ya tienen déficit estructurales significativos.

Escenarios potenciales: una proyección de emisiones para el año 2005³⁷

Si las tendencias señaladas en la sección anterior se mantienen, como es previsible, las posibilidades de que el progreso tecnológico mantenga el nivel de calidad ambiental se van a ir agotando. Hay que tomar en cuenta que ya se ha hecho lo que era más evidente y barato, de manera que las próximas etapas serán cada vez más costosas y difíciles de implementar. A continuación se examina precisamente las variaciones en emisiones que se espera lograr en el año 2005, a partir de supuestos razonables de desarrollo futuro del sistema.

Para ello se plantean dos escenarios para el 2005. Primero un escenario que incorpora las medidas de transporte propuestas en el Plan de Desarrollo del Sistema de Transporte Urbano 1995-2010 (SECTRA, 1995). Este escenario contempla básicamente lo siguiente: una proyección del uso de suelo en base a tendencias actuales y potenciación de subcentros; aplicación de tarificación vial y aumento de tarifas de estacionamientos, los que desincentivarían el uso del automóvil; e inversiones en infraestructura considerando la vialidad convencional, vialidad especializada para servicios de locomoción colectiva, y ampliación del Metro. Como resultado, se observa un crecimiento significativo en los vehículo kilómetro circulados por automóviles y camionetas. Adicionalmente se mejoran algunos parámetros de transporte, en particular la velocidad media de circulación de automóviles que sube de 17 km/hr a 20 km/hr.

El segundo escenario incorpora, además de las medidas de transporte, 14 medidas específicas para reducir las emisiones directas de contaminantes y 2 que afectan las emisiones indirectas de particulado. Estas medidas fueron propuestas en el Plan de

³⁷ Esta sección se basa en el capítulo 5 de Universidad de Chile (1997).

Descontaminación de Santiago (CONAMA, 1997), y se asume que en el 2005 son plenamente efectivas. Cabe señalar que estas medidas obedecen a un largo proceso de discusión y evaluación, y por tanto son las que las autoridades ambientales han considerados más factibles de aplicar en este periodo. Las 14 medidas señaladas incluyen, entre otras, mejoras en la calidad de combustibles, crecientes obligaciones de mantención que incentiven a un recambio más acelerado de vehículos antiguos, mejora en los servicios de transporte público incentivando así el traspaso de usuarios desde automóviles a buses, y mayores exigencias en cuanto a emisiones y menor deterioro en vehículos nuevos. Estas medidas, además de afectar los factores de emisión, implican una menor circulación de automóviles con respecto al escenario sin Plan de Descontaminación, ya que se asume que una cierta proporción de los viajes se traspasan de automóviles a buses³⁸. En consecuencia se asume una reducción en los vehículo kilómetros circulados, respecto del escenario anterior. Las medidas indirectas corresponden a la pavimentación de calles de tierra³⁹, y limpieza de calles..

Las implicancias ambientales de lo anterior se observan en la figura 5 que presenta las emisiones de cada contaminante para los tres escenarios considerados (utilizando las emisiones del año 1997 como base=100), distinguiendo la contribución de automóviles, taxis, camionetas, y buses. En primer término se observa que las emisiones de todas las sustancias (excepto SOx) aumentan al aplicar solo el Plan de Transporte (escenario 2005). Esto es una clara indicación de que, aún cuando se logran ciertos objetivos de transporte con este Plan, no se cumplen los objetivos ambientales. Más aún, la situación ambiental se deteriora significativamente para varios contaminantes. Se observa además que la importancia de los automóviles en el total de emisiones es muy significativa, y que la importancia relativa de los buses es bastante reducida y que incluso disminuye levemente al 2005.

Luego, en ausencia de medidas específicas de reducción, no es esperable que en el mediano plazo se cumplan las metas de reducción propuestas para este sector. Por ello es necesario aplicar medidas adicionales, como las que se plantean para el escenario con Plan de Descontaminación para el año 2005 (escenario 2005* en la figura). Las consecuencias ambientales de este escenario se presentan también en la figura 5. Se observa que, a pesar de haber mejoras significativas con respecto al escenario anterior, no hay avances importantes respecto de la situación de 1997. En efecto, las emisiones de CO se reducen sólo levemente, por lo que la concentración de este contaminante no se reducirá lo requerido para cumplir la norma. Los COV se reducen cerca de un 10% y los NOx un 20% por lo que el impacto sobre la formación de ozono es también claramente insuficiente respecto de lo requerido. Finalmente las emisiones totales de PM-10 incluso aumentan levemente respecto de las de 1997. Sin embargo en este caso hay un progreso importante en cuanto a las emisiones desde el tubo de escape de los vehículos ya que éstas llegan a casi el 50% del valor de 1997.

³⁸ En particular se hace el supuesto optimista que un 5% de los viajes en auto catalítico se evitan y un 10% de los viajes en autos no-catalíticos.

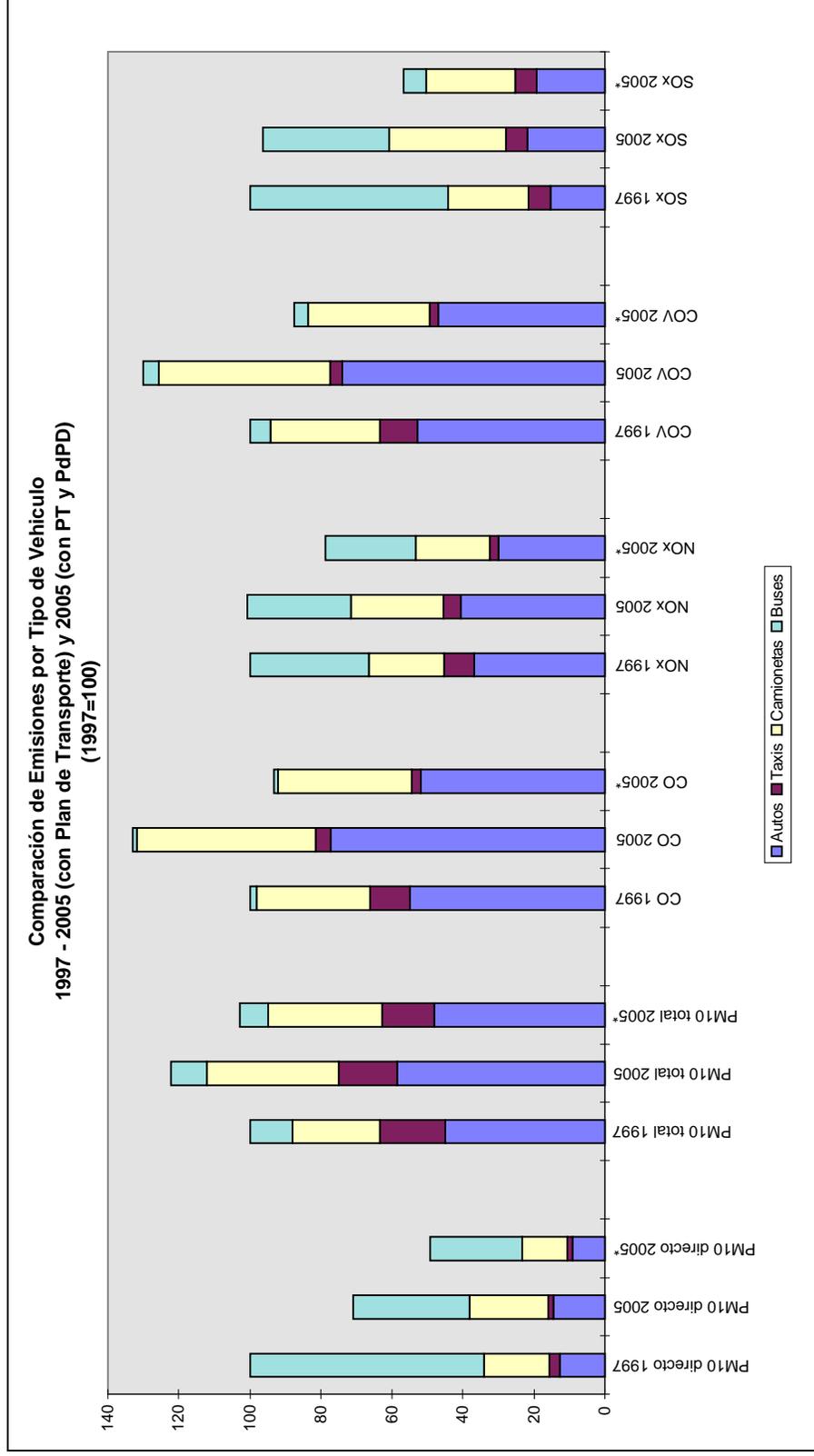
³⁹ Para el escenario sin Plan de descontaminación se asume que se mantiene el déficit actual de aproximadamente 1000 km de calles sin pavimentar.

Lo expuesto configura un cuadro preocupante para el año 2005. A pesar de que es necesario reducir las emisiones de estos contaminantes en cerca de 50%, no se puede esperar para ese año una situación substancialmente mejor a la actual. ¿Qué impide avanzar en el cumplimiento de las metas ambientales? El problema principal es que el número y largo de los viajes en automóvil sigue aumentando. Consecuentemente las medidas tecnológicas que se estiman factibles para Santiago en el mediano plazo alcanzan apenas para compensar el correspondiente aumento en emisiones. Incluso si se transformara los buses a vehículos de muy baja emisión (por ejemplo una proporción del parque a gas y otra parte eléctrico), el efecto no sería significativo para la mayoría de los contaminantes debido a la poca importancia de las emisiones de buses en las emisiones totales⁴⁰.

Esto es especialmente alarmante: no se observa que haya mejoras tecnológicas aplicables a automóviles en el futuro cercano diferentes a las ya evaluadas, y aquellas tecnologías probadas en buses -aun cuando se pudieran implementar en Santiago- no harían una diferencia sustancial en cuanto a emisiones totales. Por ello es necesario, desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental, asegurar que se reduzca la circulación de automóviles y camionetas respecto de lo proyectado. Ya en la proyección de las consecuencias del Plan de Descontaminación, se ha hecho el supuesto optimista de que las políticas implementadas logran estimular a una parte importante de actuales usuarios de transporte público a no cambiarse de modo. En caso que esto no suceda, las emisiones serían incluso mayores a las proyectadas. Por cierto las tendencias actuales muestran que muchas de las políticas consideradas en el Plan de Transporte, que se orientan a reducir en el mediano plazo la tasa de crecimiento de los viajes en automóvil -tarificación vial y encarecimiento y reducción de estacionamientos- son resistidas. Es fundamental, desde un perspectiva ambiental, que ellas se apliquen. De otra forma, cualquier mejora tecnológica futura inevitablemente será insuficiente frente al crecimiento sostenido en la circulación de automóviles.

⁴⁰ Esta conclusión puede ser algo menos fuerte para el PM-10 emitido por tubo de escape por lo discutido más arriba.

Figura 5: Emisiones Proyectadas por Contaminante: 1997, 2005 y 2005*



Fuente: Elaboración propia.

Para ello es necesario complementar las medidas contempladas en el Plan de Transporte con otras que definitivamente hagan atractivo el transporte público -tanto por menores costos y tiempo de viaje, como por su comodidad y conectividad- frente al uso del automóvil. También es necesario reducir directamente la demanda por viajes de múltiples maneras: mejorando la información en ciertos servicios públicos, haciendo innecesario viajar para recabar antecedentes, facilitando el pago de cuentas por correo, etc. En el largo plazo, se debe revertir la tendencia a la suburbanización, crear subcentros, y promover la densificación urbana, entre otras medidas, las que permitirían reducir el número y largo de viajes. Por cierto una evaluación integral en este sentido excede los alcances de este trabajo⁴¹.

5. Conclusiones: la Importancia de Priorizar el Transporte Público en Países en Desarrollo

Los sistemas de transporte afectan de manera significativa la sustentabilidad ambiental urbana. En efecto, son las principales fuentes de diversos contaminantes atmosféricos -especialmente PM-10, monóxido de carbono, ozono y plomo- que superan en las normas establecidas en casi todas las grandes ciudades. Esta contaminación genera efectos sobre la salud, los materiales, estéticos, etc. Además, el transporte es fuente principal de la contaminación acústica de las ciudades, problema de creciente importancia en el mundo. A nivel global se observan impactos sobre el calentamiento global debido al intensivo uso de combustibles fósiles.

Diversas tendencias afectan las emisiones urbanas. Por una parte la creciente motorización y uso del automóvil implican crecientes emisiones. El transporte público por lo general⁴² es menos contaminante por pasajero kilómetro transportado -como se señaló para el caso de Santiago- y por tanto transportar pasajeros en este medio implica menores emisiones que hacerlo en auto. Además, la existencia de una lenta tasa de renovación de vehículos impide reducir de manera rápida las emisiones. En países pobres se observa por ello una mayor inercia frente a la posibilidad de reducir las emisiones como consecuencia de cambios tecnológicos en los vehículos. Finalmente la forma urbana determina el número y largo de los viajes. Los núcleos urbanos densos típicos de ciudades europeas y japonesas permiten realizar una proporción importante de los viajes caminando o en bicicleta. La forma dispersa de ciudades de los Estados Unidos y Australia en cambio, favorecen la dependencia del automóvil. Los sistemas de transporte público, al favorecer ciudades más compactas y menor generación de viajes, además de viajes más cortos, tienden a tener un menor impacto ambiental.

Así, lograr la sustentabilidad ambiental del transporte en cada ciudad dependerá de las características específicas de la misma. Ciudades de países desarrollados -de gran extensión y poca diversificación- que dependen fuertemente del automóvil, tales como

⁴¹ A partir de un proceso participativo realizado a fines de 1996 y comienzos de 1997 se identificaron 31 medidas específicas para el sistema de transporte, 26 para regulación de emisiones vehiculares y 22 para gestión socio-espacial. Ver "Santiago Limpia el Aire de Santiago" *Perfiles de Instrumentos de Gestión para la Calidad del Aire de Santiago*, Borrador, marzo, 1997.

⁴² Este resultado depende entre otros factores de la mantención de los buses y automóviles y de las tasa de ocupación, en particular de los buses.

las de Estados Unidos, deben focalizarse en mejoras tecnológicas para el parque de automóviles que aumenten la eficiencia y reduzcan las emisiones contaminantes. Considerando que allí las flotas se renuevan en periodos relativamente cortos, esta estrategia permitiría mantener e incluso reducir las emisiones totales de la ciudad. Esto no impide fijar también metas de largo plazo respecto de una mayor densificación y diversificación, lo que permitiría reducir el número y largo de los viajes.

Ciudades en regiones menos desarrolladas, que aún no dependen tan fuertemente del automóvil, tienen la oportunidad de asegurar que el futuro desarrollo urbano sea más sustentable ambientalmente. Para ello deben aprovechar de mantener y aumentar la proporción de viajes que se realizan en transporte público. Los antecedentes presentados para Santiago ponen de manifiesto que las mejoras técnicas aplicables son absolutamente insuficientes para lograr niveles de calidad ambiental aceptables. Para mejorar la situación ambiental es fundamental, además de medidas tecnológicas, priorizar el transporte público. Es la única forma de asegurar en el mediano plazo, que las tendencias negativas no impidan mejorar la calidad ambiental.

En efecto, una ciudad basada en transporte público tiende a ser más compacta, a generar menos viajes y viajes más cortos. Cada uno de estos factores permite reducir las emisiones frente a la alternativa de una ciudad basada en el automóvil, que estimula la extensión urbana y la separación de actividades. Por ello, esta es una ventaja del transporte público que solo se aprecia en el largo plazo, pero que es clave para reducir las actuales tendencias a la expansión urbana y suburbanizaciones.

En segundo lugar, los buses emiten substancialmente menos contaminantes por pasajero kilómetro transportado que los automóviles para la mayoría de los contaminantes, como se detalló para el caso de Santiago. Estas diferencias son especialmente significativas al compararlas con los vehículos sin convertidor catalítico. Por cierto esta conclusión no es extensible automáticamente a cualquier ciudad, pero es muy probable que en un contexto de país en desarrollo se cumpla debido a las altas tasas de ocupación de estos vehículos.

Además, el transporte público permite un menor uso de espacio vial y consecuentemente menor congestión. Las emisiones de contaminantes disminuyen al reducirse la congestión y por tanto priorizar viajes en este medio facilita el descontaminar. Por el contrario, un aumento sostenido de la circulación de automóviles llevaría, ante la probable insuficiencia en la provisión de infraestructura, a creciente congestión y a un aumento más que proporcional en las emisiones. Además, la creciente congestión genera mayores niveles de ruido.

Finalmente las posibilidades de control de un sistema de transporte público son muy superiores al posible en un sistema basado en el automóvil. En efecto, permite mayor control sobre la estructura misma de los viajes; la tecnología primaria utilizada; la mantención, tanto del sistema, como de los vehículos que lo conforman; y la operación, ya que pueden ser puestas en práctica políticas de operación de sistemas de transporte público que están totalmente fuera de control si se trata de transporte privado. Esto facilita aplicar medidas crecientemente restrictivas si es necesario para cumplir las metas ambientales. En particular en el caso del ruido por ejemplo, bastaría imponer medidas

relativamente simples para lograr reducciones importantes en el nivel actual. También se puede imponer rápidamente un cambio tecnológico, por ejemplo hacia buses a gas.

En conclusión enfrentar el problema de la sustentabilidad ambiental del transporte en ciudades pasa tanto por mejoras tecnológicas como de gestión, estas últimas orientadas a asegurar que una creciente proporción del total de viajes se realicen en un transporte público eficiente y de baja contaminación. Las potencialidades de un enfoque así, son especialmente auspiciosas para ciudades en países en desarrollo, donde la dependencia del automóvil aún no está tan asentada.

REFERENCIAS

- ARIC (Atmospheric Research & Information Centre) (1996)**, *Urban Air Pollution in World Cities Series: World Megacities*, en Air Quality Information Programme Factsheets Series, WHO/UNDP (<http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/megacit.html>).
- Collados, Eugenio (1996)**, Caracterización de Tráfico y Carreteras como Fuentes de Ruido. Predicción de Niveles de Ruido, Trabajo presentado en el Seminario - Taller: "Contaminación Acústica y Control de Ruido Ambiental Urbano: Ruido de Tráfico y Carreteras".
- CONAMA R.M., (abril, 1997)**, Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana.
- CONAMA, R.M., (junio, 1996)**, Mejoramiento de la Información requerida para el Control de la Contaminación Atmosférica de la Región Metropolitana, Informe final, Proyecto de Cooperación Chile-Suecia.
- CONAMA R.M., (abril 1996)**, Antecedentes para la Declaración de Zona Saturada de la Región Metropolitana, Resumen Ejecutivo.
- Escudero, Juan (1996)**, A 5 Años del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, Acción Ciudadana por el Medio Ambiente/Friedrich Ebert Stiftung.
- Governo do Estado de Sao Paulo (1997)**, Por um Transporte Sustentável, Documento de Discussão Pública, preparado por la Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Feb.
- Intendencia Metropolitana, (1989)**, Estudio Base de Generación de Niveles de Ruido.
- Larrea, Sergio (1995)**, Regulación de las Emisiones de Ruido en Fuentes Móviles, Método de Medición y Límites de Emisión, Tesis de Grado presentada para obtener el Grado de Licenciado en Acústica, Valdivia-Chile.
- Lean, G. (ed) (1990)**, World Wildlife Fund Atlas of the Environment, Prentice Hall Press, New York.
- OCDE (1996-a)**, Towards Sustainable Transportation, Conference Highlights and Overview of Issues, organized by the Organization for Economic Cooperation and Development, hosted by the Government of Canada, Vancouver, British Columbia, March 24-27, 1996.

- OCDE (1996-b)**, Pollution Prevention and Control. Environmental Criteria for Sustainable Transport, report on phase I of the Project on Environmentally Sustainable Transport, OCDE, OCDE/GD(96)136, Paris.
- OCDE (1996-c)**, Pollution Prevention and Control. Environmentally Sustainable Transport Project (EST), Compendium of expert papers; studies presented in the Context of the OECD Environment Directorate's EST Project.
- OCDE (1994)**, Final report on the Joint OECD/ECMT (European Council of Ministers of Transportation) Project Group on Urban Travel and Sustainable Development, Feb.
- OCDE (1991)**, The State of the Environment, Paris.
- Romero Hugo**, Julio 31-Agosto 5, (1995), Land Use Changes, Local Wind Systems and Air pollution in Santiago, Chile. Paper preparado para la International Geographical Union, Conferencia regional de los países del Caribe y Latino America, Havana, Cuba.
- Saville, S.B. (1993)**, *Automotive Options and Air Quality Management in Developing Countries*, en UNEP Industry and Environment, Vol 16, N° 1-2, Jan-June
- SECTRA (1991)**, Encuesta Origen Destino de Viajes del Gran Santiago 1991, Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Santiago.
- U.K. Dept. of the Environment (1992)**, The U.K. Environment, The U.K. Dept. of the Environment, London.
- Universidad de Chile. (1997)**, Análisis de Fundamentos Ambientales en Transporte Público, preparado por el Departamento de Ingeniería Industrial para el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes, Secretaría Regional Ministerial Región Metropolitana, informe final.
- Walls, M. (1993)**, Motor Vehicles and Pollution in Central and Eastern Europe, Resources for the Future Discussion Paper ENR 93-22.
- WHO (1992)**, Health Effects of Climate Change, World Health Organization, United Nations, New York.
- WRI, World Resources Institute, UNEP y UNDP (1996)**, World Resources 1996-1997, Oxford University Press, New York.
- WRI, World Resources Institute, UNEP y UNDP (1992)**, World Resources 1992-1993, Oxford University Press, New York.
- Zegras, Christopher and Litman, Todd**, (March, 1997), An Analysis of the Full Costs and Impacts of Passenger Transport in Santiago de Chile, The International Institute for Energy Conservation, Santiago.