

Fundamentos científicos del desarrollo del sistema metro como vía de solución al problema del transporte masivo de grandes ciudades

Adolfo Camilo Torres Prada*

Resumen

En el presente artículo de reflexión se presenta un resumen de las causas fundamentales que han dado origen al agudo problema del transporte masivo de pasajeros en las grandes ciudades del planeta, se registran algunas conclusiones de importantes congresos mundiales donde se ha debatido profundamente sobre las tendencias mundiales en pro de mejorar la movilidad en las mega-polis del mundo, se registran las características y virtudes generales del metropolitano (metro) como elemento fundamental de un sistema de transporte masivo de pasajeros efectivo y que soluciona radicalmente el problema. Y finalmente se reflexiona sobre los beneficios económicos relacionados con los sociales y que se deben tener en cuenta para mejorar los análisis de beneficio-costos de éste medio de transporte y que pueden contribuir en futuros programas de desarrollo de sistemas de transporte urbano en Colombia.

Palabras clave: metropolitano, transporte masivo de pasajeros, sistema, mega-polis.

SCIENTIFIC BASES OF DEVELOPMENT OF THE SUBWAY SYSTEM AS A SOLUTION TO MASSIVE TRANSPORTATION IN BIG CITIES

ABSTRACT

This article presents a summary of basic causes that gave rise to the critical problem of passenger mass transit in big cities and accounts for some conclusions of various important conferences worldwide where the tendencies towards improving mobility of passengers in the megapolis of the world have been discussed. It also shows the characteristics and general benefits of the Subway as the fundamental element of the public transportation system for passengers, and an effective solution for this problem. Finally, it analyses the economic benefits related to the social component that have to be born in mind to improve the cost-benefit balance, which can contribute to future development programmes of urban transport in Colombia.

Key Words: Subway, public transportation, transport system, megapolis.

* Ingeniero Civil Universidad Nacional de Colombia. Ph.D. en ciencias técnicas. Especialidad de Diseño y construcción de caminos, aeródromos, puentes, metropolitanos y túneles de transporte Universidad Estatal de Vías de Comunicación de San Petersburgo. Docente, Investigador Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de la Salle.

Fecha de recepción: junio 4 de 2006.

Fecha de aprobación: agosto 5 de 2006.

La práctica mundial de la construcción de los sistemas metropolitanos y la experiencia de su explotación en más de 100 ciudades de diferentes países y continentes, sin ninguna objeción a demostrado que, para solucionar de manera efectiva los problemas de transporte en las ciudades que sobrepasan una población de un millón de habitantes, la alternativa mas adecuada es un sistema de metro.

Algunos de los factores que caracterizan las modernas mega polis de diferentes latitudes del mundo son el permanente crecimiento de su población (Tabla 1) a grandes ritmos, el acelerado desarrollo de los corredores de transporte, problemas energéticos y el incesante deterioro del medio ambiente con los consecuentes peligros ecológicos.

TABLA 1. TENDENCIA DEL CRECIMIENTO DE POBLACIÓN DE GRANDES CIUDADES DEL MUNDO*.

Continente	Porcentaje de población urbana (%)	País	Porcentaje de población urbana (%)	Ciudad	Número de habitantes (millones)
AUSTRALIA	71	Australia	71	Sidney	3.6
ASIA	31	India	25.7	Bombey	13.3
				Calcuta	11.1
		China	26.2	Shangay	14.1
				Pekin	11.4
				Japon	77.4
NORTEAMÉRICA	75	México	75	Tokio	25.8
				Osaka	10.5
				Mexico	15.3
				Ee.uu.	77.5
SURAMÉRICA	75	Brasil	75	New York	16.2
				Los Angeles	11.9
				San Paulo	19.2
ÁFRICA	32	Egipto	50	Rio De Janeiro	11.3
				Colombia	62
				Bogota	7.2
EUROPA	73	Inglaterra	75	Cairo	9.0
				Londres	7.3
				Alemania	78.3
				Essen	6.4
				Francia	74.3
EUROPA	73	Francia	74.3	Paris	9.4
				Federación Rusa	74
				Moscu	9.2
				San Petersburgo	5.1

* Elaboración propia, información recopilada de diversas fuentes.

Una de las causas fundamentales del problema del transporte en las grandes ciudades es el crecimiento del número de automóviles que en las últimas décadas ha superado en algunas de éstas hasta en 5 veces el crecimiento de la población. Éste crecimiento tan fuerte del parque automotor ha originado que en muchos casos las «arterias» de las ciudades no tengan la capacidad necesaria para el flujo normal de los vehículos, y que no exista en ellas la posibilidad de estacionamiento.

Veamos por ejemplo como toda la región Centro y Suramericana, ha sido fuertemente influenciada por el modelo Estadounidense. Los Estados Unidos de Norteamérica es un ejemplo de la realización del programa general «Automóvil como el mejor medio de transporte». En el siglo XX fueron creadas: la industria automotriz, las sub-industrias que abastecen el servicio al automóvil y se desarrolló el gigantesco sistema de autopistas. La construcción de las redes federales de autopistas americanas es uno de

los más grandes proyectos en la historia de Estados Unidos.

En la actualidad, analizando la cantidad de automóviles y la población de Estados Unidos se observa que en promedio un automóvil transporta a dos estadounidenses y que cada ciudadano posee 2 automóviles. Desde 1980 en EE.UU. los gastos por compra de automóviles, repuestos, combustibles y lubricantes ocupan el segundo puesto después de los productos alimenticios. El desarrollo del transporte urbano se complicó por la demanda energética que éste requería, con todo esto se observó que, una gran parte de la población optó por utilizar más frecuentemente los sistemas de transporte público, debido al fuerte incremento del costo de los combustibles que obligó al gobierno de EE.UU. al ajuste de la infraestructura. Los negativos efectos energéticos y ecológicos que se produjeron a consecuencia del mencionado modelo de transporte, originó que se implementara un programa de reacción para desarrollar el transporte público, que le puso freno al grave problema que durante muchos años soportaron los estadounidenses, es así como, las grandes ciudades de los Estados Unidos adelantan hoy, ambiciosos y multimillonarios programas de modernización de sus redes de metros, las cuales no eran atendidas desde la década de los setenta del siglo pasado.

Los efectos negativos que se presentan con los contradictorios crecimientos entre el transporte público y el de los automóviles particulares, los sufren, aunque no de la manera tan fuerte como en Estados Unidos, todas las ciudades con un índice de automóviles mayor a 1 automóvil por cada 10 ciudadanos y con una gran densidad de área construida (en Bogotá la auto movilización alcanza 1 aut/8 hab.).

Ya en el año de 1976, se planteó dentro de las conclusiones del II Seminario Internacional sobre el rol del transporte en la planeación y el desarrollo de las ciudades y de su medio ambiente, celebrado en Washington que, el propósito fundamental de la planeación del sistema de transporte de una ciudad, es el mejoramiento de la movilidad teniendo en cuenta los factores socio-económicos y de protección al medio ambiente. Y que ésta idea es inalcanzable por medio de la modernización y desarrollo de un sistema basado en el transporte de vehículos particulares.

En las conclusiones del III Seminario Internacional, encuentro celebrado en el año de 1984 en la ciudad de Moscú: «La Ciudad y su Transporte, Evaluación y Perspectiva de Desarrollo», se concluyó que, en el desarrollo del transporte público mundial se presenta la tendencia del resurgimiento del tranvía, como medio de transporte urbano efectivo, fundamentado por la modernización de los trenes y la posibilidad técnica de construir las líneas férreas para el sistema de manera independiente de las vías vehiculares. Se identificó además, el futuro desarrollo del sistema metro como el principal medio sobre rieles de transporte rápido dentro de grandes ciudades, la importancia de la conexión férrea para conectar a la ciudad con sus afueras y municipios vecinos y el trabajo integral del sistema con todos los medios de transporte público: tren de cercanías, tranvías, metro y autobuses.

El metro es un ejemplo a escala mundial de lo que debe ser un sistema rápido de transporte (Tabla 2), además el sistema metro es el único de las posibilidades para el transporte urbano que garantiza un tiempo de llegada exacto para el pasajero (sistema alejado de factores externos que intervienen, como son: las condiciones climáticas, tráfico, protestas, etc.)

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE VELOCIDAD MEDIA DE SERVICIO DE DIFERENTES TIPOS DE TRASPORTE URBANO DE PASAJEROS. *

Tipo o medio de transporte	Velocidad media de comunicación (km/h)	Tiempo medio de recorrido en un viaje de un kilómetro (min.)
Tranvía	16.8	3.57
Troleibus	17.5	3.43
Autobús	18	3.33
Troleibus y autobús por carriles exclusivos	19.5	3.08
Troleibus y tranvía rápidos	22	2.72
Autobús rápido	23.5	2.55
Troleibus y autobús rápidos por corredores exclusivos	25	2.4
Tranvía rápido por carril exclusivo	25.5	2.35
Troleibus y autobús rápidos por corredores exclusivos y con un sistema automatico de control	28	2.14
Tranvía rápido por corredor exclusivo	31	1.93
Metropolitanos y vías férreas eléctricas urbanas	45	1.35

* Elaboración propia a partir del análisis de diversas fuentes (Molinero, A. y Sánchez, I., 2001; Torres, C., 2004).

Atendiendo al factor de la capacidad de transporte de pasajeros de los diferentes sistemas de transporte que se implementan en las ciudades del mundo, se tiene que en promedio, los trolebuses y autobuses es racional utilizarlos en los corredores con un flujo de pasajeros hora entre los 2 a los 7 mil pasajeros/hora. Los tranvías son utilizados como tipo de transporte urbano básico en corredores con un flujo de pasajeros entre los 5 a 10 mil pasajeros/hora en un sentido. Cuando en los principales corredores de las ciudades se supera un flujo de pasajeros de 15 mil pasajeros/hora en un sentido, el problema del transporte masivo de ésta población debe ser solucionado con ayuda de un sistema metro.

Se destaca la gran capacidad de una línea de metro para el transporte de pasajeros. Así, con un tren

compuesto por 6 vagones se logra satisfacer un flujo de pasajeros de 50 mil pasajeros/hora en un sentido y con una composición de 8 vagones se llega a 70 mil pasajeros/hora. Por todo lo anteriormente expuesto el metro es en la actualidad el más moderno y confortable medio de transporte masivo de pasajeros. Además, la cobertura del servicio con una adecuada definición del esquema del metro puede llegar hasta mas halla de los limites de la ciudad.

Hoy día, la solución al problema del transporte de las grandes ciudades, por medio de la organización del traslado masivo de pasajeros en un sistema metro, debe ser satisfecho desde una fundamentación científica seria. Sin duda alguna la experiencia actual en el ámbito mundial en cuanto al diseño y soluciones constructivas de los metros es inmensa, así, en la actualidad en casi 100 ciuda-

des de más de 30 países se explotan los sistemas metro. La primera línea de metro subterránea que entró en funcionamiento data del 10 de octubre de 1863 bajo la avenida Charls Pirsonn en Londres (Tabla 3). Pese a los problemas técnicos propios de

la época durante su construcción y otros durante su explotación, la primera línea del metro en Londres demostró grandes ventajas frente a los demás tipos de transporte sobre superficie.

TABLA 3. ALGUNOS DE LOS METROS MÁS GRANDES DEL MUNDO*.

Ciudad	Entrada en servicio	Movimiento de pasajeros anual (millones)	Líneas en funcionamiento	Longitud del sistema (km)	Numero de estaciones	Numero de vagones	Intervalo de llegadas en hora pico (min)
Londres	1863	728	11	394	271	4582	2.5
New York	1871	997	26	398	469	5866	2
Paris	1900	1201	15	201	370	3481	1.5
Tokio	1927	2739	12	230	217	2917	2
Osaka	1933	1002	7	106	85	1022	2
Moscú	1935	3184	10	244	150	4060	0.5
S. Petersburgo	1955	810	4	92	54	1205	1
México D F	1969	1444	9	158	135	2424	2.5
Pekín	1969	840	2	40	29	304	2
San Paulo	1974	624	3	44	41	588	1.5

* Elaboración propia, información recopilada de diversas fuentes.

Así pues, se observa que el avance de la ciencia y tecnología de la construcción de metropolitanos tiene un recorrido ya centenario. Un papel muy importante en el avance del conocimiento en cuanto al diseño y construcción de metros lo jugó la desaparecida Unión de Republicas Socialista Soviéticas (URSS), solo en los años treinta en el territorio soviético se construyeron mas de 500 km de líneas para el metro y más de 300 estaciones. El primer escrito científico referente a los metros, del ingeniero de vías férreas P.I. Balinsky surgió en el año de 1904.

Por las condiciones de gran densidad de construcción en la superficie de los centros de las grandes ciudades, y con el fin de mantener intacto el patrimonio arquitectónico presente en él, y para evitar años caóticos durante la construcción, en las últimas décadas se ha optado por emplear las líneas de

metro tazadas en profundidad, pese a la gran inversión inicial para su construcción. Las obras subterráneas son un tema actual para las grandes ciudades, en las conclusiones del encuentro internacional «Ciudad Subterránea 2004» en Moscú, se estima que en los próximos años se ubicaran bajo el espacio urbano mundial cerca del 70% de los parqueaderos, el 80% de los depósitos, un 30% de los centros culturales y comerciales, el 40% de centros industriales, 30% administrativos y el 50% de los comunales. El metro construido en profundo es un problema que en la ingeniería día a día a permitido avanzar en la investigación de diferentes áreas que competen en el diseño y construcción de éste complejo sistema. Cada nueva obra para este sistema es centro de investigación e innovación, ya que para llegar a las soluciones técnico-constructivas optimas deben ser analizados gran variedad de factores inertes en las condiciones propias de cada

proyecto como el tránsito urbano, los suelos, la sísmica, las estructuras, materiales, hidráulica e hidrología.

Muchas ciudades del mundo se han negado a la implementación del sistema metro como solución a su problema de transporte de pasajeros, en algunos casos por los malos resultados, técnico-económicos que se han presentado en algunos proyectos, pero que en general son producto de factores distantes al técnico y social. Otra causa es el desconocimiento del fundamento o principio fundamental al proyectar el sistema: Funcionamiento efectivo y duradero, junto con una alta capacidad de transporte brindando el factor social de comodidad al pasajero.

El sistema de transporte masivo de pasajeros en las ciudades debe atender, sin dejar ninguno sin satisfacer los siguientes principios:

- ◆ Economía en el costo del pasaje.
- ◆ Intervalos cortos de espera.
- ◆ Mínimo tiempo de viaje
- ◆ Comodidad.
- ◆ Seguridad.
- ◆ Ecológicos.
- ◆ Proyección del funcionamiento al largo plazo.
- ◆ El metro como eje planificador del crecimiento urbano.
- ◆ Garantía en la continuidad del servicio

Las ventajas de implementar los sistemas metro solo son visibles a la luz de contemplar sus beneficios sociales. Con algunos de éstos podemos relacionar:

- ◆ La importancia y el gran valor social del espacio en superficie de las grandes ciudades, Los habitantes de las grandes ciudades ven como sus parques, corredores verdes y otros lugares verdes se eliminan para dar paso a las grandes avenidas o corredores de transporte público.

Todo proyecto metro se estudia como un sistema a favor de éste factor.

- ◆ La importante reducción del ruido de la ciudad y de los niveles de contaminación del aire, esto es salud y mejor calidad de vida.
- ◆ La reducción ya contemplada anteriormente de los tiempos de viaje, con tiempos de espera muy bajos y con paradas menos frecuentes durante el viaje. Esto se traduce como una mayor productividad de la ciudad.
- ◆ La adecuada utilización de los recursos energéticos para la ciudad
- ◆ Se reducen los accidentes y las muertes.

Al realizar una comparación económica adecuadamente evaluada, entre varios sistemas de transporte masivo de pasajeros, el metro aunque en la etapa constructiva requiere de una fuerte inversión y los costos durante su explotación son importantes, tiene grandes ventajas pues, se debe considerar la efectividad del sistema concibiendo a la ciudad como un todo, de esta manera se reconoce que el metro genera beneficios económicos, de la siguiente manera:

- ◆ Reducción de la inversión por la compra y mantenimiento del sistema de transporte público (los repuestos y gastos para el servicio de los buses, trolebuses, tranvías son mucho más frecuentes que para un tren eléctrico)
- ◆ Los menores tiempos de viaje de los pasajeros, es mayor producción de ellos y fortalecimiento económico de la ciudad.
- ◆ Menos accidente y pérdidas humanas

- ◆ El mantenimiento del buen estado ecológico y mejoras en la salud pública
- ◆ Menos gastos por la constante compra del material rodante, combustibles, grasas y aceites. Y la consiguiente mejor utilización de recurso del petróleo.

En un sistema de transporte público moderno deben interactuar los diferentes tipos de transporte público urbano, como elementos participantes con funciones específicas de atención de la población por zonas, pero teniendo siempre como columna central a las líneas del metro.

De manera cuantitativa y gracias a la ciencia, todos estos anteriores factores pueden ser evaluados; los niveles de ruido y de emisión de gases de los diferentes tipos de transporte masivo de pasajeros, los resultados de una evaluación beneficio-costos responsable y con visión, el aumento en la esperanza de vida de los ciudadanos, los beneficios en cuanto al factor de desarrollo sostenido para la ciudad, y todos aquellos que fueron muy rápidamente analizados en estas cortas líneas, son el fundamento científico que demuestra que, una ciudad de millones de habitantes, sin el sistema metro como solución moderna y efectiva, no podrá resolver el problema de movilidad de su población.

BIBLIOGRAFÍA

- CONPES, Departamento Nacional de Planeación. *Sistema de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros de Bogotá, Colombia*, 2000.
- Frolov, Y.; Golizynskiy, D. y Ledyayev, A. *Metropolitanos*, Moscú, 2004.
- Japan's new frontier strategy, Underground space development, 1990. *Tunnelling and underground space technology 1 y 2*.
- Memorias, Encuentro Internacional «Ciudad Subterránea - 2004», Moscú.
- Molinero, A. y Sánchez, I. *Transporte Público – planeación, diseño, operación y administración*, 2001.
- Stavnichiy, Y. *Sistemas de transporte de ciudades*, Moscú, 1990.
- Torres, C. «Rol del metropolitano como solución del problema del transporte de la ciudad de Bogotá, Colombia». *Metros y Túneles 6*, Moscú, 2003.
- Torres, C. *Fundamentos de la solución constructo-tecnológica para las estructuras de los túneles para un metro en la ciudad de Bogotá (Colombia)*. San Petersburgo: UEVCSP, 2004.
- Underground Space in the XXI. *Tunnelling and underground space technology 1*, 1986. Universidad Piloto de Colombia. *Alternativas de proyectos de gestión para proyectos de transporte urbano, «casos estudios proyectos «Metro – Transmilenio», , Bogotá, 1999.*