

Comparación del Nivel de Servicio del Transporte Público de Seis Ciudades Latinoamericanas

Juan Carlos Muñoz
Pontificia Universidad Católica de Chile
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística
jcm@ing.puc.cl

Marco Batarce
Pontificia Universidad Católica de Chile
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística
mbatarce@ing.puc.cl

Ignacia Torres
Pontificia Universidad Católica de Chile
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística
iqtorres@ing.puc.cl

RESUMEN

Este artículo resume la metodología y los principales resultados de la comparación de los niveles de servicio de los sistemas de transporte público en seis ciudades de América Latina: Santiago, Bogotá, Guadalajara, Ciudad de México, Porto Alegre y Lima. La contribución original de este trabajo es el diseño y la aplicación de una metodología común en todas las ciudades, lo que garantiza que la comparación es correcta. A la vez, la metodología es flexible para adaptarse a la disponibilidad de información de cada ciudad. El elemento central de la metodología es la selección de una muestra representativa de viajes. Para cada viaje se estima el nivel de servicio en base a mediciones de distintas variables, como velocidad, frecuencia, distancia de acceso, etc., dependiendo de la información complementaria disponible sobre la operación de sistema.

Keywords: public transportation, level of service

ABSTRACT

This article summarizes the methodology and main results in the comparison of the level of service indicators of the public transport in six cities in Latin America: Santiago, Bogotá, Guadalajara, Mexico City, Porto Alegre and Lima. The original contribution of this work is the design and implementation of a common methodology in all cities, which ensures that the comparison is correct. At the same time, the methodology is flexible to deal with the availability of information in each city. The main element of the methodology is the selection of a representative trip sample. Depending on the availability of information about the operation of the transport system, the level of service is estimated on the basis of measurements of different variables, such as speed, frequency, distance access, etc., for each trip.

Keywords: public transportation, level of service

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es realizar un análisis comparativo del nivel de servicio de los sistemas de transporte público de seis ciudades latinoamericanas. Específicamente, se comparan los sistemas de Ciudad de México y Guadalajara en México, Porto Alegre en Brasil, Bogotá en Colombia, Lima en Perú y Santiago de Chile. Una característica fundamental de este estudio es que la comparación de los niveles de servicios se realiza en base a información recolectada con una metodología común.

En la literatura de transporte existen pocos estudios que comparen el nivel de servicio que entregan los sistemas de transporte de las ciudades. Quizás el más reconocido sea el Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina (CAF, 2011) que incluye 15 de las principales ciudades latinoamericanas y cuyo objetivo es suministrar información para el diseño de políticas públicas y la gestión de los sistemas de transporte público. Sin embargo, los datos provienen principalmente de estadísticas sectoriales de cada país, de autoridades de transporte y tránsito, de encuestas origen-destino de viajes. Por lo que los resultados en relación con niveles de servicio están sujetos a las diferencias que existen en las fuentes primarias de datos, que a su vez tienen diferencias metodológicas. Esto limita la comparación que se puede hacer entre las ciudades de Latinoamérica.

La metodología para la comparación de los niveles de servicio consiste en la recolección de información en terreno sobre tiempos de viaje, de espera y de acceso de una muestra de viajes representativa de la ciudad. La forma en que se selecciona la muestra y se recoge la información de niveles de servicios es común a todas las ciudades del estudio. Sólo se realizaron ajustes cuando la información disponible no permitía implementar la metodología común. Sin embargo, se cuidó que tales ajustes no representen diferencias significativas que invaliden la comparación.

Lo que resta de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta la metodología de recolección de información. En la sección 3 se presenta la comparación de las ciudades en cuanto a los niveles de servicio experimentados por los usuarios. En la sección 4 se entregan conclusiones.

2. METODOLOGÍA

El estudio busca generar indicadores promedio para todos los usuarios que usan transporte público durante la punta mañana, desagregados por distancia de viaje y sus varianzas asociadas. Es interesante destacar que estos indicadores representan el desempeño agregado para viajes de largo similar en cada ciudad; evidentemente estarán sujetos a una gran variabilidad dependiendo de la disposición geográfica de los viajes al interior de las mismas. Dentro de lo posible, se intenta caracterizar las fuentes de esta variabilidad. Es importante reconocer que posiblemente los valores promedio generados para los niveles de servicio no representarán a nadie en particular, sino que indican solamente las condiciones promedio experimentadas en la ciudad.

La metodología se implementa en las condiciones más similares posibles en cada una de las ciudades y procura ser independiente de elementos de juicio que pudieran sesgar los resultados. Así, se pretende que la comparación sea lo más justa posible considerando los errores estadísticos inevitables.

Para llevar adelante esta comparación se realiza un muestreo de viajes en transporte público en la punta mañana en cada ciudad, que sea representativo de los viajes totales realizados. Es decir, se identifica un conjunto de viajes representativo, en cuanto a los indicadores de interés, que permite comparar las ciudades. En principio, estos viajes no se realizan, sino que se estiman sus atributos relevantes promedio y su variabilidad. Para esto se asume que los viajes son realizados de manera de minimizar el tiempo de viaje entre el origen y el destino.

Es importante destacar que es posible que los usuarios que en verdad realizan viajes como los de la muestra se comporten de manera diferente a la asumida. Así, este estudio no mide el nivel de servicio que los usuarios reciben, sino que aquel podrían recibir si se comportaran como el estudio asume.

Una vez determinados el origen y el destino de los viajes específicos a analizar, se identifican las etapas en que se realizaría cada viaje, junto con las paradas de subida y bajada de cada una. Luego, para cada etapa se establece el o los servicios que el usuario tendría como alternativas de viaje. Con la información de etapas y servicios disponibles, se determina para cada viaje su tiempo promedio de caminata, de espera, de viaje en vehículo y transbordos. Con esta información se procede a determinar los indicadores promedio y sus varianzas para viajes de distinta longitud en la ciudad.

Para determinar los tiempos de viaje y de espera se realizan mediciones en terreno que permiten estimar estas variables. Las mediciones consisten en tomar una muestra representativa de servicios de cada modo en la ciudad y registrar el instante de pasada de buses sucesivos de estos servicios en distintos puntos de su ruta. Con esta información es posible estimar la velocidad de operación (promedio y desviación estándar) y la distribución de la duración de los intervalos entre buses (en particular interesa el promedio y la desviación estándar). Para capturar la heterogeneidad en la operación de los distintos modos y servicios de transporte público al interior de cada ciudad, se agrupan los servicios en categorías donde las variables que interesa medir son relativamente homogéneas. Estas categorías se definen de acuerdo a la infraestructura utilizada por los servicios (por ejemplo, vía segregada o corredor exclusivo) o en base a zonas geográficas que cubren. Luego, a partir de la categorización definida, se asocia una velocidad y un intervalo promedio a cada servicio utilizado en los viajes de la muestra.

Esta información, unida a los datos sobre las etapas de los viajes seleccionados previamente, permite estimar un valor aproximado de los tiempos de viaje en vehículo, y los tiempos de espera en cada viaje y en cada etapa de los mismos.

Cabe destacar que esta metodología es general y en cada ciudad se adapta según la disponibilidad de información y factibilidad técnico-económica de su aplicación. Por ejemplo, en el caso de Santiago existe mucha información de la operación de los servicios de buses que está centralizada y sistematizada, como programas de operación y rutas en sistemas de información geográfica. Sin embargo, en otras ciudades no se cuenta con tal centralización y sistematización de la información. Por ejemplo el caso de Guadalajara y Ciudad de México para la mayoría de las rutas no existen registros de ningún tipo. Por lo tanto, aunque el esquema general se mantiene para que los resultados sean comparables, la forma de aplicar la metodología se adapta para que su aplicación sea exitosa.

En general, la metodología usada para medir variables relacionadas con el nivel de servicio se divide en las siguientes etapas:

- Selección de la muestra de viajes a nivel de zonas origen-destino
- Identificación de puntos de origen y destino específicos de los viajes
- Identificación de la ruta transporte público para cada uno de los viajes de la muestra
- Estimación de los niveles de servicio para cada una de las etapas de los viajes de la muestra

A continuación se describe de forma más detallada la estimación de los niveles de servicio.

2.1 Estimación de Niveles de Servicio para Cada Viaje del Muestreo

Para estimar los indicadores de nivel de servicio asociados a cada una de las distintas etapas de viaje se utiliza diferentes metodologías dependiendo del indicador a analizar.

La distancia recorrida por el usuario desde su origen a su destino se obtiene directamente utilizando herramientas disponibles en Internet, como “Google Earth” o “Google Maps”. Estas distancias corresponden a distancias reales sobre la red de transporte. La distancia de caminata para cada una de las etapas (caminata inicial, final y transbordos) se obtienen a partir de la ruta mínima entre dos puntos identificados unívocamente mediante sus coordenadas geográficas. La distancia de viaje en ruta (abordo del vehículo) se obtiene mediante las herramientas ya mencionadas, trazando la ruta escogida sobre el mapa, o mediante una base de datos con la distancia en ruta entre cada uno de los paraderos de los servicios de transporte público disponibles y luego consultando dicha base de datos. Esto es relevante en el caso de etapas que se realizan en metro subterráneo, donde la distancia representada en el mapa podría no coincidir con la distancia real recorrida en la red.

El número de transbordos se obtiene directamente del itinerario de viaje definido para cada uno de los registros de la muestra. Se considera como transbordo el cambio de un servicio de transporte a otro, aun cuando no implique un cambio modal.

Para obtener el tiempo de caminata se utilizan diferentes velocidades promedio de caminata para distintas ciudades, dependiendo de su topografía. Por ejemplo, en Santiago se utilizó 4 km/h, en Bogotá se utilizó 3 km/h. La elección de la velocidad de caminata depende de factores locales que son definidos por personal técnico en cada ciudad.

La velocidad comercial de los modos se obtiene de mediciones en terreno de los distintos tipos de servicio existentes. Dado que no es viable tener una medición de cada uno de los servicios que operan en una ciudad, el método consiste en agrupar los servicios (o subtramos de éstos) en distintas categorías que se asumen con condiciones de operación similares.

Luego, se obtienen condiciones de operación (velocidad promedio y desviación estándar) para cada categoría y se aplican a cada uno de los servicios (o subtramos) de los 400 viajes que pertenecen a una misma categoría. El tiempo a bordo del vehículo se calcula a partir de la distancia recorrida a bordo en los viajes de la muestra y de la velocidad de operación promedio estimada para los servicios de cada categoría.

A partir de frecuencias medidas en terreno se estima el tiempo medio de espera de los usuarios como función del intervalo medio entre buses y su varianza. La expresión de esta variable es

$$t_e = \frac{1}{2} \left[\bar{I} + \frac{Var(I)}{\bar{I}^2} \right],$$

donde \bar{I} es el intervalo medio y $Var(I)$ es la varianza de los intervalos.

Cuando no se tiene información detallada de la frecuencia nominal de las líneas o ésta no es confiable, se determina el tiempo medio de espera para cada categoría (aquellas definidas para la estimación de la velocidad). Si se cuenta con información detallada de la frecuencia nominal de cada servicio y de sus ruta, se construyen curvas de tiempo de espera promedio para cada categoría, c , en función de la frecuencia nominal, f_n . Estas curvas, $t_e^c(f_n)$, son convexas y estrictamente decrecientes. A partir de estas curvas se estima el tiempo de espera para servicios cuyas frecuencias nominales no hayan sido parte del muestreo medido en terreno.

Sin embargo, el intervalo entre buses no recoge otros efectos que inciden en la distribución de los tiempos de espera experimentados por el usuario. Estos son:

1. Que el bus no se detenga en el paradero respectivo, a pesar de tener capacidad disponible.
2. Que el servicio venga con su capacidad completa y sea imposible abordarlo.

Estos efectos son particularmente importantes en Santiago y Bogotá. Por lo tanto, en estas ciudades se cuantifica ambos efectos mediante su probabilidad de ocurrencia. En Santiago se realizó una encuesta en puntos de llegada de pasajeros de buses y se preguntó por la cantidad de buses que no se detuvieron en el paradero donde se subió y los que no pudo abordar porque estaban llenos. En Bogotá se midió en una muestra de buses a lo largo de su recorrido la ocurrencia de estas situaciones. En base a los datos se estima la probabilidad de que el tiempo de espera de un usuario se vea afectado por cada uno de estos fenómenos en una categoría. Con estas probabilidades se modifica la función de tiempo de espera promedio $t_e^c(f_n)$ para cada categoría, de modo que la estimación incorpore el impacto de ambos efectos.

Cuando no existe información de frecuencias o de recorridos, como en el caso de Lima y Ciudad de México, los tiempos de viaje, espera, trasbordo y caminata se determinan realizando cada viaje de la muestra o una etapa de ellos tres veces en días distintos. De esta forma se obtiene un promedio y desviación estándar para cada viaje, que después se agrega para reducir sesgos de muestreo según categorías de tipo de servicio, de infraestructura o zona geográfica.

El tiempo de trasbordo se obtiene como la suma entre tiempo de caminata y de espera en cada ocasión que se produzca un cambio de vehículo durante el viaje. En el caso de trasbordos que involucren cambios de nivel topográfico (por ejemplo desde un bus a superficie hacia un tren subterráneo o elevado, o entre trenes operando a distintas profundidades), se determina una penalidad asociada al tiempo de caminata cambiando de nivel.

Esto se hace más detalladamente si se estima necesario, pero en el caso más general se considera una penalidad fija por tipo de trasbordo.

3. COMPARACIÓN DE NIVELES DE SERVICIO

A continuación se presenta el resumen de los principales indicadores de nivel de servicio que caracterizan los sistemas de transporte público de las ciudades analizadas. De manera de contextualizar la comparación se presentan algunas características básicas de las ciudades y de la operación de sus sistemas de transporte público.

3.1 Características de las Ciudades y sus Sistemas de Transporte Público

En esta sección se presentan la información relativa a las características de los sistemas de transporte y las ciudades donde operan.

La Tabla 1 muestra la superficie, la población, la densidad, el ingreso per cápita y el coeficiente de Gini de las ciudades que forman parte de este estudio. Destaca la superficie de Ciudad de México (2.884 km²) y Lima (2.817 km²) que alcanzan entre 3 y 8 veces la superficie de las otras ciudades. Les sigue Santiago con 955 km². En la población y la densidad de habitantes las diferencias no son tan marcadas como en el caso de la superficie. Por ejemplo, las ciudades más pobladas son Ciudad de México y Bogotá, siendo esta última la más densa en habitantes. La distribución del ingreso está medida a través del coeficiente de Gini¹. Se aprecia que Santiago, Bogotá, Ciudad de México y Porto Alegre tienen un grado de desigualdad similar. Respecto del ingreso, según el Observatorio de Movilidad Urbana de la CAF al año 2007, las ciudades tienen ingresos entre 400 y 500 USD (450 USD en promedio). La excepción son Bogotá y Lima, cuyo ingreso promedio es 613 USD y 307 USD, respectivamente. Notar que esta variable no corresponde al PIB per cápita de la ciudad, sino que corresponde a la estimación del ingreso de real de los individuos.

TABLA 1: Características de las Ciudades Analizadas

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Superficie (km ²)	955	478	351	2.884	497	2.817
Población (mil.)	5,9	7,4	3,7	12,1	1,4	9,3
Densidad (hab/km ²)	6.153	15.412	10.616	4.204	2.844	3.301
Ingreso (US\$/hab)	429	613	453	501	402	307
Coef. Gini	0.55	0.54	0.40	0.56	0.58	0.44

Las ciudades analizadas ofrecen diferentes alternativas modales en su sistema de transporte público. Para efectos de este estudio, en Ciudad de México se consideró cinco alternativas de transporte público, en Porto Alegre sólo se consideró bus, en Guadalajara se consideró bus y tren ligero, en Bogotá se distinguió entre BRT y bus convencional, en Lima sólo se consideró bus convencional y BRT, y en Santiago, bus y metro.

¹ Este coeficiente toma el valor cero cuando existe perfecta igualdad de riquezas entre todas las personas y el valor uno cuando una persona acumula todas las riquezas

La partición modal del público también presenta diferencias entre ciudades (ver Tabla 2). Destacan positivamente Ciudad de México, Lima y Bogotá donde más de dos tercios de los viajes motorizados se realizan en transporte público. Este resultado es muy consistente con la tasa de motorización de las ciudades. Como se aprecia en la Tabla 2, a mayor número de vehículos por habitante, menor el uso del transporte público. Esto puede indicar que el transporte público es muy poco atractivo y deja de ser utilizado por los usuarios que tienen acceso al automóvil.

Respecto de la población, no pareciera existir una relación clara entre ésta y el uso del transporte público. Por ejemplo, Santiago es más poblada que Guadalajara y Porto Alegre, pero el uso del transporte público es menor. Evidentemente, existen otras variables que pueden explicar el mayor o menor uso del transporte colectivo en una ciudad, como ya se indicó, la tasa de motorización es una de ellas, entre muchas otras.

En la Tabla 2 se presenta la participación de las distintas alternativas de transporte público en los viajes de cada ciudad. En el caso de Santiago se agrupa en tres alternativas: Bus, Metro y Bus-Metro. Esto se debe a que el sistema de transporte integrado dificulta diferenciar los viajes en modos no combinados. Para el resto de las ciudades no existe integración total, por lo que sí se presentan las participaciones de los modos puros. En todas las ciudades el bus representa más de dos tercios de los viajes en transporte público, siendo Santiago la ciudad con la menor participación del bus, ya sea sólo o en combinación con el Metro.

Es evidente que la participación de otros modos que requieren infraestructura especializada, como Metro o BRT, está limitada por la extensión de dicha infraestructura y su relación con el tamaño de la ciudad. Por ejemplo, Ciudad de México tiene una red de Metro con una extensión que es el doble de la de Santiago y su participación es sólo de 19%. Sin embargo, la ciudad es 3 veces más grande en superficie. Existen muchas otras variables que determinan la distribución entre modos de transporte público, como la distribución espacial de las actividades, la tasa de motorización, la calidad de los servicios, etc.

TABLA 2: Características del Sistema de Transporte Público de las Ciudades Analizadas

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Tasa de Motorización (veh/hab)	0,34	0,12	0,38	0,29	0,44	0,11
Viajes motorizados al día (millones)	9,5	10,1	5,7	21,5	2,1	12,1
Participación del transporte público	60%	68%	48%	69%	50%	78%
Flota de buses (miles)	6,1	15,7	5,2	57,9	1,7	15,1
Partición modal						
Bus	38%	73%	92%	79%	100%	95%
Metro	31%		5%	19%		5%
BRT		27%	3%	1%		
Trolebus				1%		
Bus-Metro	31%					

3.2 Indicadores del Nivel de Servicio de los Sistemas

En esta sección se presenta la comparación de nivel de servicio ofrecido por los sistemas de transporte de las ciudades estudiadas. Dichos niveles son calculados sobre la base de datos recolectados en terreno y siguiendo la metodología presentada en la sección 2.

La comparación de los niveles de servicio se basa en un conjunto de indicadores que describen los principales aspectos del funcionamiento de un sistema de transporte público desde el punto de vista de los usuarios. Los indicadores que se comparan son el tiempo de viaje, de caminata, de espera, a bordo del vehículo y la velocidad.

Además interesa comprender dos tipos de variabilidad en el nivel de servicio. Una es la variabilidad intrapersonal, que mide cuán disímiles son las condiciones para un mismo viaje (o un mismo usuario) en momentos distintos. La otra es la variabilidad interpersonal, que mide cuán disímiles son las condiciones para viajes que se realizan en distintos lugares de la ciudad (o por distintos usuarios).

El primer tipo de variabilidad se relaciona con la experiencia que puede tener un usuario que realiza un mismo viaje repetidamente, por ejemplo el viaje al trabajo. Mientras más variable sean las condiciones del viaje, peor será el servicio ofrecido por el sistema. Este tipo de variabilidad se mide como el promedio de la desviación estándar del tiempo (de viaje, en vehículo y de espera) que se experimenta en cada viaje de la muestra. Dicha desviación estándar tiene su origen en la irregularidad de la velocidad de los vehículos y de los intervalos de pasada y fue medida en terreno.

El segundo tipo de variabilidad tiene relación con la homogeneidad de la calidad del servicio en la ciudad. Estas comparaciones también se pueden hacer también por categoría de distancia entre las distintas ciudades. Esta variabilidad se mide a través de la desviación estándar de los tiempos (de viaje, en vehículo, de espera y caminata) experimentados en la ciudad. Esto puede considerarse como una medida de la equidad del sistema de transporte público en la ciudad. Mientras menor la variabilidad, dentro de un rango de distancia, más equitativo es el servicio que reciben los diferentes usuarios del sistema.

En las siguientes subsecciones, se presentan dos comparaciones entre las ciudades. Una está basada en toda la muestra de viajes y, por lo tanto, los indicadores representan condiciones promedio de la ciudad. En esta comparación están incluidos los efectos del tamaño de la ciudad y puede considerarse los sistemas de transporte público se comparan en términos absolutos. La otra subsección presenta una comparación basada en la muestra de viajes que tienen una longitud mayor a 5 km y menor a 10 km. Tal rango de distancia corresponde, en general, a la moda de la distribución de la longitud de viaje si ésta se agrupa en intervalos de 5 km. Esta comparación intenta aislar el efecto del tamaño de la ciudad y, por lo tanto, se considera que sistemas de transporte público se comparan en términos relativos.

3.3 Comparación Basada en Toda la Muestra de Viajes

La Tabla 3 muestra la distancia, la velocidad de viaje (puerta a puerta), el tiempo de viaje, de espera, de caminata, en vehículo y la distancia y velocidad de viaje a bordo del vehículo. La velocidad está calculada como la razón entre la distancia promedio y el tiempo de viaje promedio. Esto es equivalente a calcular la velocidad como la media ponderada por la distancia del viaje. Se observa que las ciudades más grandes tienen velocidades de viaje más altas. Esto se debe a que el tiempo de viaje incluye no sólo el tiempo en vehículo, sino que también incluye tiempo de acceso caminando, tiempo de espera y de transbordos.

En el caso de Guadalajara el tiempo de espera es el más alto en la muestra de ciudades. Además, las ciudades de mayor tamaño cuentan con modos de transporte de alta velocidad, como metro o BRT, que permiten realizar parte importante del viaje en poco tiempo. De hecho, las ciudades con la velocidad más alta son Santiago (14,5 km/h), Bogotá (14,2 km/h) y Ciudad de México (13,8 km/h). Esto se debe principalmente a que una parte importante de los viajes se realizan en Metro o en BRT que alcanzan velocidades muy superiores a las alcanzadas por los servicios de buses convencionales en las otras ciudades.

TABLA 3: Comparación de Nivel de Servicio Basada en toda la Muestra de Viajes

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Distancia de viaje (km)	12.2	11.7	9.5	20.9	9.2	8.7
Velocidad de viaje (km/h)	14.5	14.2	10.0	13.8	11.0	11.9
Distancia en vehículo (km)	11.3	11.5	8.8	19.2	8.4	8.0
Velocidad en vehículo (km/h)	23.9	19.0	16.1	16.1	17.0	16.0
Tiempo de viaje (min)	50.8	49.6	57.2	90.6	49.8	44.1
Variabilidad interpersonal (min)	22.5	24.2	26.9	41.7	25.3	27.0
Variabilidad intrapersonal (min)	7.1	10.4	11.1	15.8	7.1	4.1
Tiempo en vehículo (m)	28.5	36.2	32.8	71.7	29.7	30.0
Variabilidad interpersonal (min)	15.7	23.3	21.1	40.5	22.3	26.2
Variabilidad intrapersonal (min)	3.5	9.1	5.9	17.4	3.9	4.5
Tiempo de espera (min)	8.6	4.8	13.9	5.4	9.3	4.6
Variabilidad interpersonal (min)	4.7	2.3	14.2	6.8	1.6	2.3
Variabilidad intrapersonal (min)	5.8	5.0	10.5	7.5	4.7	2.1
Tiempo de caminata (min)	13.8	8.6	10.4	13.6	10.9	9.5
Variabilidad interpersonal (min)	10.1	2.2	5.5	6.1	7.3	4.6

Respecto de la distancia y la velocidad a bordo de los vehículos, Santiago muestra una clara diferencia con el resto de las ciudades, alcanzando una velocidad promedio de 24 km/h. Esto se debe al efecto del Metro, que tiene velocidades de operación más altas que otros sistemas de buses y casi dos tercios de los viajes de la ciudad lo utilizan. La Tabla 4 muestra las velocidades promedio de los diferentes modos en las ciudades donde existe bus, metro y BRT. Se observa que el Metro de Santiago alcanza velocidades muy superiores al resto de los modos en las otras ciudades. Levemente inferior, el BRT de Bogotá alcanza velocidades muy altas para un sistema basado en buses, incluso supera al metro de Ciudad de México y el tren ligero de Guadalajara, lo que se explica por esquema de operación

de servicios expresos y las vías exclusivas. El tren suburbano de Ciudad de México es un modo excepcional puesto que la distancia entre estaciones y su trazado no urbano permite que circule a una velocidad comercial muy alta.

El mayor tiempo de viaje se registra en Ciudad de México. Parece natural que en ciudades más grandes los viajes requieran de un mayor tiempo. Sin embargo, para el resto de las ciudades el tiempo de viaje es prácticamente igual (estadísticamente no son diferentes). Por ejemplo, Guadalajara es una ciudad pequeña con un tiempo de viaje muy alto que, en gran parte, se puede explicar por el tiempo de espera que se experimenta allí. Destaca que Bogotá tenga el menor tiempo de viaje en la muestra, siendo una ciudad más Grande que Porto Alegre y Guadalajara. Como se explicó antes, esto puede deberse al uso de los servicios expresos del BRT (Transmilenio). Consistentemente se ve que la variabilidad individual es menor que la de nivel de ciudad. Es decir, la ciudad es muy heterogénea en cuanto a la longitud de los viajes que se realizan y en cuanto a la calidad del servicio ofrecida.

Santiago y Lima son las ciudades grandes que presentan el menor tiempo de viaje a bordo del vehículo. En el caso de Lima la explicación puede ser que la distancia de viaje es menor que en el resto de las ciudades. En el caso de Santiago, el bajo tiempo de viaje en el vehículo se explica por el uso intensivo del Metro. Se observa que en ciudades más pequeñas, como Guadalajara y Porto Alegre, el tiempo de viaje en vehículo es mayor o muy similar a Santiago y Lima. En el caso de Bogotá, el tiempo a bordo del vehículo es mayor porque los viajes son más largo, en promedio.

En Santiago la variabilidad del tiempo en vehículo, tanto a nivel de ciudad como individual, es la más baja de la muestra de ciudades. La variabilidad individual es de 3,5 min (este valor es la desviación estándar del tiempo), lo que indica un alto nivel de confiabilidad para servicios que mayoritariamente circulan por vías con tráfico mixto y dado los niveles de congestión de Santiago en el periodo punta mañana.

TABLA 4: Velocidad a Bordo del Vehículo por Modo de Transporte, Calculada en Base a toda la Muestra de Viajes (km/h)

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Bus	17,1	16,3	15,4	8,8	17,0	16,0
Metro	33,4		26,0	21,1		
BRT		27,2		13,9		
Tren Suburbano				51,5		
Total	23,9	19,0	16,1	16,1	17,0	16,0

Ciudad de México tiene una gran variabilidad en el nivel de ciudad, lo que es razonable dado su gran extensión. Por su parte, la variabilidad individual es más alta de lo que se podría esperar, dado que existe una extensa red de Metro (200 km) y un sistema de BRT que son modos muy regulares, ya que no están afectados por la congestión. Sin embargo, la razón entre la extensión de la red de metro y la superficie de la ciudad no es mayor que la de Santiago (0.07 vs 0.11), lo que podría explicar la poca influencia del Metro en el tiempo medio en vehículo.

Respecto del tiempo de espera y su variabilidad, se debe notar que el tiempo de espera de un viaje corresponde a la suma del tiempo de espera de cada etapa del viaje. Lo mismo aplica para el caso de la variabilidad. Destacan Bogotá, Lima y Ciudad de México por su bajo tiempo de espera promedio. Esto podría estar relacionado con el gran tamaño de flota que existe en las ciudades (ver Tabla 1), lo que genera altas frecuencias y, por consecuencia, bajo tiempo de espera.

Además, el otro modo más utilizado en Bogotá es el BRT y Ciudad de México es el Metro, lo que contribuye a obtener bajos tiempos de espera.

Santiago y Porto Alegre tienen similar tiempo de espera promedio: 8,2 min y 8,9 min, respectivamente. Sin embargo, los viajes en Santiago tienen, en promedio, más etapas que en Porto Alegre, lo que incrementa el tiempo de espera promedio, que es la suma de éste en todas las etapas del viaje. Esto indica que en Santiago el nivel de servicio, en cuanto a tiempo de espera individual por etapa de viaje, es uno de los mejores de la muestra. Por otra parte, la variabilidad individual es más baja en Santiago, indicando una mayor regularidad de los servicios. Esta diferencia se explica porque en Santiago dos tercios de los viajes utilizan Metro, modo que no existe en Porto Alegre y que tiene una alta regularidad.

En el tiempo de caminata existe poca diferencia entre las ciudades, indicando que el acceso a los servicios de transporte público es similar en todas ellas. Santiago y Ciudad de México exhiben tiempos un poco mayores, pero se debe principalmente a los tiempos de caminata en los transbordos, que son menores en las otras ciudades.

También se calculó un precio del viaje promedio de acuerdo a la combinación de modos promedio que se observa en cada ciudad en la muestra de viajes medidos en terreno. No corresponde al promedio de lo que cuesta cada viaje de la muestra, si no que una estimación en función de las etapas del viaje promedio y el valor de cada modo. Los resultados de esta estimación se muestran en la Tabla 5. Como existen tarifas diferenciadas por distancia para los buses en Lima y Ciudad de México, se presentan el rango del precio de un viaje promedio en esos casos. Se puede concluir que en Santiago el precio del transporte es relativamente alto, comparado con las otras ciudades. Sin embargo, esta comparación no incluye el nivel de ingreso o el poder de compra de cada país, lo que podría cambiar el orden relativo de los precios.

TABLA 5: Precio de un Viaje Promedio en Transporte Público en la Hora Punta

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Precio promedio del viaje (USD)	1,37	1,66	0,68	0,68–1,34	1,64	0,24–1,62
Precio promedio por distancia (USD/km)	0,12	0,14	0,08	0,04–0,07	0,19	0,05–0,08

3.4 Comparación Basada en Viajes con Longitud entre 5 y 10 km

La Tabla 6 muestra los niveles de servicio para la muestra de viajes entre 5 y 10 km de longitud. Como se espera, la distancia promedio de viaje es similar en todas las ciudades y está alrededor de 7,3 km. Por otra parte, la velocidad es muy heterogénea entre ciudades. Llama la atención que Ciudad de México tiene la velocidad más baja en este rango de longitud (6,8 km/h) y baja casi a la mitad de la velocidad promedio para toda la ciudad (13,8 km/h). Esto evidencia una gran heterogeneidad y también el efecto de los viajes largos, que utilizan vías expresas y el tren suburbano, incrementando la velocidad promedio de los viajes en la ciudad. Destaca que Bogotá presenta la velocidad más alta entre las ciudades del estudio.

En el caso de Santiago también se observa una disminución de la velocidad. Esto podría deberse al mayor impacto que tiene el tiempo de espera en el tiempo total de viaje.

En efecto, de la Tabla 6 también se desprende que el tiempo medio de espera para los viajes en el rango analizado es alrededor del 20% del tiempo total de viaje.

TABLA 6: Comparación de Nivel de Servicio con la Muestra de Viajes con Longitud entre 5 y 10 km

	Santiago	Bogotá	Guadalajara	Ciudad de México	Porto Alegre	Lima
Distancia de viaje (km)	7.5	7.6	7.3	6.9	7.3	7.1
Velocidad de viaje (km/h)	11.0	11.9	8.9	6.8	10.5	10.1
Tiempo de viaje (min)	40.8	38.0	49.4	60.1	41.9	42.3
Variabilidad interpersonal (min)	11.4	8.3	17.5	28.5	8.9	10.9
Variabilidad intrapersonal (min)	8.0	8.9	11.6	13.4	8.1	5.3
Tiempo en vehículo (min)	20.8	25.6	25.9	40.2	22.7	27.6
Variabilidad interpersonal (min)	6.9	8.3	8.8	26.7	6.3	10.7
Variabilidad intrapersonal (min)	4.1	7.4	7.5	13.6	5.7	4.5
Tiempo de espera (min)	8.1	4.1	13.2	5.0	8.4	4.9
Variabilidad interpersonal (min)	4.5	1.8	15.0	6.5	1.7	2.6
Variabilidad intrapersonal (min)	5.3	4.7	7.4	6.9	4.5	2.0
Tiempo de caminata (min)	11.9	8.4	10.3	15.0	10.7	9.9
Variabilidad interpersonal (min)	8.0	1.5	6.0	6.8	7.4	4.6
N° de observaciones	96	126	157	89	128	104

El tiempo de viaje total y el tiempo de viaje a bordo del vehículo presentan el mismo patrón entre las ciudades. Consistentemente con los resultados de la velocidad, Ciudad de México exhibe altos tiempos de viaje. Pero además también muestra gran heterogeneidad tanto a nivel interpersonal como a nivel intrapersonal. Al comparar de tiempo de viaje total con el tiempo en vehículo, se deduce que la fuente de la gran variabilidad en Ciudad de México es la velocidad de circulación de los vehículos. Las otras cinco ciudades tienen tiempos de viaje y en vehículo similares. La variabilidad también es similar entre ellas y relativamente baja.

Respecto del tiempo de espera, destaca que Santiago tiene un promedio tan alto como Porto Alegre, que es una ciudad con menos población y demanda de transporte público y con frecuencias de operación menores. Esto se explica porque en Santiago el sistema está diseñado para viajar en más de una etapa, lo que aumenta el tiempo de espera total de los viajes.

Los tiempos de caminata en las ciudades tienden a ser similares y están en torno a los 10 minutos. Excepcionalmente, Ciudad de México presenta un tiempo de caminata sobre 14 minutos, aunque por el nivel de variabilidad no se puede decir que sea una diferencia significativa con el resto.

Finalmente, cabe señalar que de acuerdo a los niveles de variabilidad (medida usando la desviación estándar) que se observan, las diferencias entre valores promedio de las ciudades no son estadísticamente significativos en general. Por lo que se debe interpretar las diferencias como tendencias de los niveles de servicio.

4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación desarrolla una metodología que permite comparar de forma objetiva el nivel de servicio ofrecido por los sistemas de transporte público de las ciudades. Destaca que el enfoque no es intensivo en recolección de datos, aunque se apoya en la existencia de una matriz de viajes construida, habitualmente, a partir de encuestas de origen y destino de viajes. Otra característica de la metodología es su flexibilidad, que ha permitido compara ciudades con muy poca información sobre la operación de los servicios, por ejemplo, sin conocer los recorridos de buses o la frecuencia.

Desde el punto de vista de los resultados de la investigación, una primera conclusión es que las condiciones que experimentan los usuarios en todas las ciudades estudiadas son muy heterogéneas. Esto se mide a través de la desviación estándar de los tiempos de los distintos componentes del tiempo total de viaje (a bordo del vehículo, de espera y de acceso). La heterogeneidad es tan alta que, en general, no es posible concluir que estadísticamente los valores promedio de los niveles de servicio para distintas ciudades son diferentes. Sin embargo, se puede hablar de tendencias.

Es así como las ciudades con gran población, como Ciudad de México, Bogotá, Lima y Santiago, tienden a tener velocidades de viaje mayores que las ciudades pequeñas, cuando se compara la velocidad promedio de toda la ciudad. Pero si se comparan los viajes que tienen una longitud entre 5 y 10 km, el resultado anterior no se mantiene y Ciudad de México resulta con la velocidad de viaje más baja de todas. Esto se relaciona con el uso de modos de transporte más rápidos para viajes más largos, como el metro y el tren suburbano en Ciudad de México. También se observa que en Santiago el tiempo de espera tiende a ser similar al de ciudades más pequeñas, como Guadalajara y Porto Alegre, donde las frecuencias de los servicios son menores. En Bogotá, Lima y Ciudad de México el tiempo de espera es más bajo porque una fracción grande de los servicios (sobre el 90%) no son regulados, o tienen poca regulación, lo que impulsa al sistema a operar con grandes flotas de buses pequeños y alta frecuencia (aproximadamente 55.000 en Ciudad de México, 25.000 en Lima y 13.000 en Bogotá).

Este es un fenómeno que se observa en muchas ciudades latinoamericanas donde no existe regulación de los servicios de transporte público. Estos buses son utilizados para acceder a otros modos de transporte masivo más rápidos como metro o BRT. En Santiago, en cambio, el sistema de buses alimentadores tiene, comparativamente, baja frecuencia. En efecto, las mediciones en terreno en Santiago indican que en promedio los alimentadores tienen un intervalo de pasada de 9,7 minutos (a diciembre de 2011), lo que producto de la irregularidad de los servicios redonda en un tiempo promedio de espera para este tipo de servicio de 6,6 minutos. Estos mayores tiempos de espera se ven agravados por un sistema que requiere normalmente más de una etapa de viaje por parte del usuario.

Como contraparte, la forma desregulada de operación produce alta congestión vial (es decir, baja velocidad de circulación) y exceso de capacidad de transporte.

Respecto del tiempo de caminata, Santiago y Ciudad de México presentan niveles relativamente altos. Esto obedece a dos factores: por una parte son las ciudades en que los usuarios deben transbordar en más ocasiones para realizar sus viajes. Por otra, los usuarios hacen un uso intensivo de Metro que cuenta con estaciones bastante más espaciadas que el modo bus. Por lo tanto las distancias de acceso son mayores. Adicionalmente, en Santiago los buses han adoptado la política de sólo detenerse en los paraderos autorizados, lo que no ocurre en algunas de las demás ciudades estudiadas. Por ejemplo, en Santiago la distancia de acceso al sistema es de 383 m, mientras en Lima es de 340 m y en Bogotá sólo de 209 m.

Otra interesante conclusión es que la calidad del servicio en Bogotá tiende a ser similar a la de Santiago, siendo ambas ciudades comparables. En las dos ciudades la demanda diaria de viajes motorizados es 10 millones, la participación del bus (convencional en Bogotá) es 70% y la distancia promedio de los viajes es 11 km. La velocidad promedio en toda la ciudad de Bogotá es de 14,5 km/h y en Santiago de 14,2 km/h. Si se considera sólo los viajes en el rango de 5 a 10 km, Bogotá muestra una velocidad de viaje de 11,9 km/h, mientras que Santiago de 11,0 km/h. Lo interesante de estos resultados es que en Bogotá no opera un metro como en Santiago, sino que un sistema BRT, con buses de alta capacidad con corredores segregados, pago extra vehicular y control de velocidad. Esto refuerza la idea que un buen sistema de buses puede entregar niveles de servicio tan buenos como sistemas de metro.

Relacionado con lo anterior, las mediciones de velocidad en Santiago demuestran que la velocidad en los corredores exclusivos de buses es significativamente más alta que en las vías de tráfico mixto. Por ejemplo, en dirección hacia el centro de la ciudad la velocidad en vías exclusiva es de 25 km/h, mientras en las vías con tráfico mixto es de 15 km/h aproximadamente. En Bogotá también se observan diferencias de este orden.

Finalmente, se debe recalcar que la calidad del servicio que se entrega en cada ciudad se relaciona con las condiciones que experimentan los usuarios en el sistema y, por lo tanto, la comparación es relevante independientemente de las características de la ciudad. Desde el punto de vista de los usuarios lo importante es que el viaje sea rápido, el tiempo de espera sea breve y que los servicios sean regulares, además de una tarifa baja. También existen otras dimensiones del nivel de servicio, como la comodidad y la seguridad, pero estas variables resultan más difíciles de medir por lo que fueron excluidas en este estudio y, además, una medición objetiva de ellas puede no representar la percepción de los usuarios al respecto. Es importante recordar que este estudio cubre sólo la hora punta mañana de días laborales, se enfoca en los niveles de servicio objetivos ofrecidos por el sistema, y se asume que los usuarios cuentan con información perfecta para viajar de la mejor forma que el sistema permite. Es decir, es posible que los niveles de servicio informados en este documento no se ajusten a la experiencia que los propios usuarios declaran ya sea porque éstos viajan de un modo diferente (por ejemplo por falta de información) o porque perciben los atributos de un modo diferente.

REFERENCIAS

- CAF (2010) *Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina*, Corporación Andina de Fomento, Caracas, Venezuela.
- Ortúzar, J. de D. y L. Willumsen (2011) *Modelling Transport*, 4a Edición, John Wiley & Sons, Chichester, UK.