



Documento nº27, marzo 2018.

Rodrigo Troncoso.

Centro de Políticas Públicas

Facultad de Gobierno

Universidad del Desarrollo

Impacto de la Infraestructura Dedicada sobre la Calidad de Servicio de los Buses en Santiago¹

Resumen

En este trabajo se presenta una estimación del impacto que tiene la infraestructura dedicada para buses sobre sus niveles de servicio. Como indicadores de calidad del servicio se consideran la velocidad promedio del viaje y el coeficiente de variación del tiempo de viaje de cada recorrido. Usando datos de la operación de Transantiago se estimaron modelos de regresión lineal múltiple para explicar los niveles de servicio en función de la infraestructura dedicada (pistas sólo bus, vías exclusivas, corredores

¹ Este artículo se basa en el trabajo “Variables que Inciden en la Calidad del Servicio de los Buses: Un Análisis Empírico para Santiago,” presentado en el 18° Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte, La Serena 2017.

segregados), el acceso a segmentos de las autopistas urbanas y otras variables de control. Se encuentra que la infraestructura dedicada para buses mejora los indicadores de calidad de servicio de manera significativa desde un punto de vista estadístico. Sin embargo, al considerar el efecto en los tiempos de viaje de la infraestructura actual, las estimaciones nos indican que para la mitad de los recorridos con infraestructura dedicada, la disminución del tiempo de viaje promedio es menor a un 1%. Por su parte el uso de las autopistas urbanas impacta positivamente la velocidad promedio del viaje, pero también aumenta su índice de variación.

1. Introducción

Existen diversos factores que determinan el nivel y calidad de servicio de un sistema de transporte público de buses, como por ejemplo el tiempo de viaje de un recorrido o servicio, la frecuencia y la regularidad, el confort, nivel de hacinamiento, etc. Algunos de estos factores están relacionados con el diseño de la red y la infraestructura que la soporta, aunque también existen otros asociados a la demanda y la congestión en la red de transporte (Abkowitz and Engelstein, 1983; Basso et al., 2011; dell’Olio et al., 2011; Strathman and Hopper, 1993; Tirachini, 2011; Tirachini et al., 2014; Zheng et al., 2012).

En este trabajo se presenta una estimación del impacto de la infraestructura dedicada para buses sobre dos indicadores de calidad de servicio en el sistema de buses de la ciudad de Santiago: velocidad promedio durante el recorrido y coeficiente de variación del tiempo de recorrido.

El sistema de buses de Transantiago cubre alrededor de 5 millones de usuarios distribuidos en los cerca de 680 km² de áreas urbanas de la ciudad. Durante un día laboral típico se realizan más de tres millones de viajes en el sistema. A julio de 2016, el sistema de buses se compone de aproximadamente 6,500 buses que realizan cerca de 800

servicios o rutas diferentes, los cuales circulan por la red vial y algunos de ellos usan infraestructura exclusiva para buses o tramos de las autopistas concesionadas de alta velocidad existentes en la ciudad.

El sistema cuenta con aproximadamente 11.000 paraderos convencionales y 100 paraderos del tipo “zona-paga”. Estos últimos operan en periodos punta en lugares de alta demanda, y el pasajero debe pagar su pasaje al momento de ingresar a la zona del paradero, a diferencia de los paraderos normales en los cuales el pasajero paga arriba del bus. Adicionalmente, el sistema Transantiago dispone de infraestructura pública dedicada para los buses durante parte de los trayectos de algunos servicios. Hay tres tipos de infraestructura dedicada: i) pistas solo bus, ii) corredores segregados de buses y iii) vías exclusivas. Las pistas solo bus se ubican al lado derecho de la vía y son reservadas, en todo momento, para buses de transporte público, aunque permiten también la circulación de taxis que lleven pasajeros. Los corredores segregados de buses están físicamente segregados del resto de la calzada, y solo permiten la circulación de buses de transporte público. Finalmente, las vías exclusivas son calles que, en determinados horarios, permiten el tránsito únicamente de buses de transporte público y taxis, lleven o no pasajeros.

Usando datos proporcionados por el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM), se estiman modelos de regresión lineal múltiple para cada uno de los dos indicadores de calidad de servicio, con el objetivo de cuantificar el impacto que la infraestructura dedicada tiene sobre el respectivo indicador de calidad de servicio. Se encuentra un efecto positivo y estadísticamente significativo de la infraestructura dedicada sobre la calidad del servicio. Por otro lado, la utilización de autopistas

incrementa la velocidad promedio de recorrido, pero aumenta la variabilidad del tiempo de recorrido.

2. Datos

La información utilizada para estimar los modelos propuestos en este trabajo los obtuvimos a partir de los indicadores de operación calculados por el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DPTM). Esta información consiste en horarios de inicio y término de recorrido, distancia del recorrido, paraderos en los cuales se detienen los servicios, y tiempo entre buses al inicio y al final del trayecto para cada uno de los recorridos de los distintos servicios realizados por buses de Transantiago durante julio de 2016.

La unidad de análisis es cada recorrido durante los periodos punta del día (6:30 a 9:30, y de 17:30 a 20:30 hrs), durante los días laborales de la semana.

A partir de la información disponible, se definieron como indicadores de calidad del servicio:

- (i) La velocidad promedio del recorrido. Esta medida es similar al tiempo promedio de viaje, pero, permite comparar recorridos de distintas longitudes.
- (ii) Coeficiente de Variación del tiempo de viaje. Esta medida, en lugar de la desviación estándar, también permite comparar recorridos de distintas longitudes al normalizar por la media del tiempo de viaje.

En los modelos econométricos se usaron como variables explicativas:

- (i) Distancia. Corresponde a la longitud del recorrido, expresada en kilómetros.
- (ii) Velocidad de los autos. Es la velocidad promedio de los autos en hora punta en las distintas comunas de la ciudad que atraviesa el recorrido, obtenida de la georreferenciación de rutas y de velocidades comunales promedio de los autos durante las horas punta.
- (iii) Número de paraderos a lo largo del recorrido (se paga al subir al bus).
- (iv) Número de zonas pagas. Paraderos en los que se paga antes de subir al bus.
- (v) Subidas: es la cantidad promedio de pasajeros que suben en cada paradero.
- (vi) Variables de infraestructura. Esto son los kilómetros de (i) corredores segregados, (ii) vías exclusivas, y (iii) pistas sólo bus. Además, se incluyeron los kilómetros de autopistas urbanas del recorrido.
- (vii) Conjuntos de variables dicotómicas tanto para los distintos días de la semana, como para los distintos periodos horarios.

Tanto la distancia recorrida dentro de autopistas, como la extensión de infraestructura dedicada para cada recorrido (corredores segregados, vías exclusivas y pistas sólo bus), fueron construidas usando información georreferenciada. El número de subidas se consideró como variable de control para capturar efectos de la demanda por el servicio, mientras que la velocidad de los autos en hora punta sirve de control para capturar los efectos de la congestión existente en diferentes tramos de la ruta de un recorrido de buses. En la Tabla 1 presentamos estadísticas descriptivas de los datos.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas

| Variable | Mean | Std Dev | Min | Max |
|-------------------------------|----------|----------|--------|--------|
| Velocidad (km/h) | 21.4513 | 4.7230 | 8.2345 | 52.443 |
| CV tiempo de viaje | 0.8398 | 0.3871 | 0.0756 | 3.918 |
| Distancia (km) | 17.3724 | 8.6951 | 3.7300 | 57.340 |
| Velocidad de los autos (km/h) | 12.9086 | 1.4486 | 8.3817 | 16.268 |
| No. de paraderos | 47.4165 | 24.3444 | 2 | 126 |
| No. de zonas pagas | 0.4561 | 0.8493 | 0 | 8 |
| Subidas | 672.8605 | 754.6183 | 2.5907 | 5,951 |
| Autopista (km) | 0.7537 | 2.6907 | 0 | 22.306 |
| Corredor segregado (km) | 1.3089 | 2.7296 | 0 | 15.944 |
| Vía exclusiva (km) | 0.5728 | 1.5705 | 0 | 11.191 |
| Pista sólo bus (km) | 2.8312 | 4.4040 | 0 | 32.494 |

3. Modelo y Resultados

Para cada variable de nivel de servicio (velocidad promedio y coeficiente de variación del tiempo) se plantea un modelo de regresión lineal múltiple:

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

donde y_i corresponde al valor de la variable dependiente para la observación i (recorrido-horario); x_{ki} al valor de la variable explicativa k para la observación i ; β_0 y β_k representan los parámetros del modelo. Los modelos se estimaron con Mínimos Cuadrados Ordinarios, y los errores estándar estimados se calcularon usando la matriz de varianzas y covarianzas robusta a la heteroscedasticidad, esperable por los distintos tamaños de los recorridos.

3.1. Velocidad promedio de los buses en el recorrido

En la Tabla 2 se presentan los resultados del modelo de regresión lineal para explicar la velocidad promedio de los buses durante el recorrido.

Tabla 2: Modelos para velocidad promedio durante el recorrido.

| Variable | Parámetro | Test-t |
|--------------------------|------------|--------|
| Km de Corredor Segregado | 0.1336733 | 15.26 |
| Km de Vías Exclusivas | 0.006667 | 0.45 |
| Km de Pistas Solo Bus | 0.0529487 | 8.08 |
| Km de Autopistas Urbanas | 0.8517948 | 50.80 |
| Velocidad Autos | 0.4640152 | 22.04 |
| N° de Subidas | -0.0012069 | -20.47 |
| N° de Paraderos | -0.0197235 | -10.32 |
| N° de Zonas Pagas | -0.3400306 | -8.70 |
| N° de Observaciones | | 13,017 |
| R2 | | 0.4512 |

Observamos que la existencia de corredores segregados aumentan significativamente la velocidad promedio de los buses; específicamente, si se aumentan 10 km de corredor segregado durante el trayecto realizado, la velocidad promedio de todo el recorrido

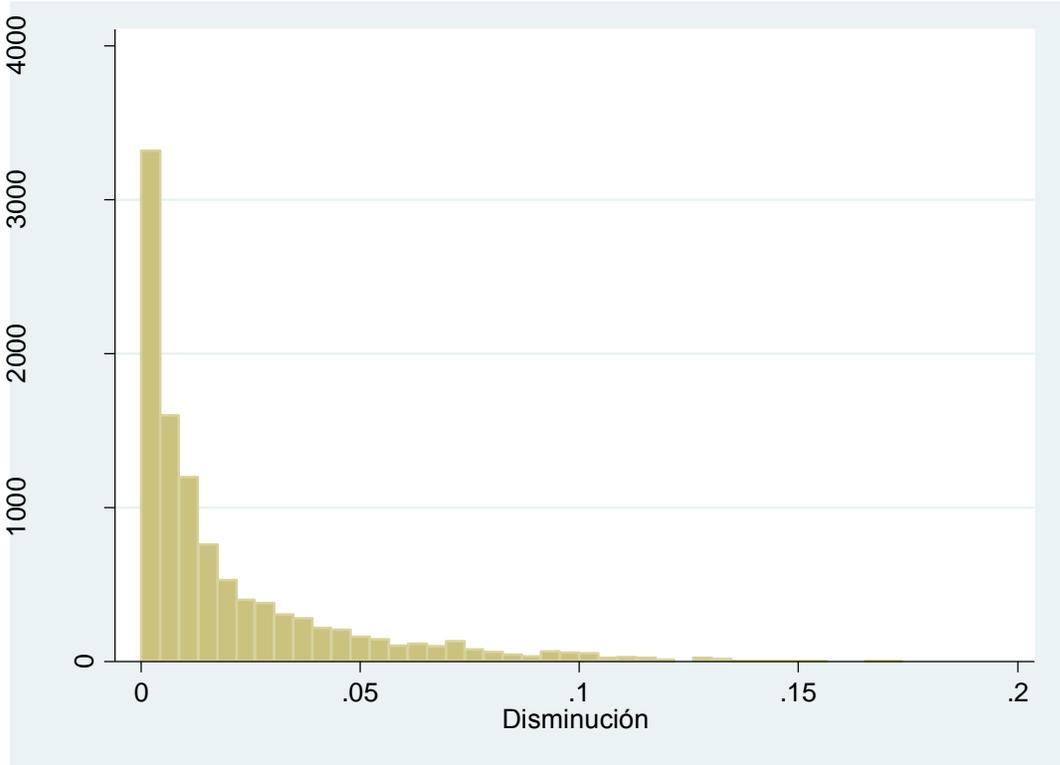
aumentará en 1,33 km/h. Respecto a las pistas sólo Bus observamos un efecto similar, estadísticamente significativo, pero menor en magnitud. En el caso de las vías exclusivas, el signo estimado es también positivo, pero su significancia estadística es baja.

Por otra parte, las autopistas aumentarían la velocidad promedio de los buses. De acuerdo con la estimación, aumentar 10 km el tramo de autopista de un recorrido aumentaría la velocidad promedio en 8,51 km/h. Este resultado es esperable debido a que las autopistas presentan menos cruces e intersecciones que los corredores segregados de buses, vías exclusivas o pistas solo bus.

En cuanto a las variables de control, los signos de los coeficientes son los esperados. En el caso de la velocidad de los autos, el parámetro es positivo, lo que parece consistente: mientras mayor sea la velocidad de los autos en un sector, mayor será la velocidad de los buses en el mismo sector. El número de subidas es negativo, al igual que el número de paradas y de zonas pagas. Esto se debe a que a mayor demanda, mayor será el número de detenciones durante el trayecto, y mayor será el tiempo de detención, reduciendo con ello la velocidad promedio de los Buses durante el trayecto.

Si bien la infraestructura dedicada para buses tiene un impacto significativo desde el punto de vista estadístico, esto no necesariamente significa que sea relevante en términos de resultados como política pública. Con las estimaciones de la Tabla 2 es posible cuantificar el impacto de la infraestructura dedicada sobre los tiempos de viaje promedio. La Figura 1 muestra un histograma de las disminuciones atribuibles a la infraestructura dedicada a los buses, expresados como disminución porcentual del tiempo promedio de cada recorrido-horario. La Figura 1 sólo considera recorridos con infraestructura dedicada, dejando fuera los recorridos que no tienen kilómetros de corredores, vías exclusivas o pistas sólo bus.

Figura 1. Disminución porcentual en los tiempos de viaje atribuible a la infraestructura dedicada.



Se observa que muy pocos recorridos-horarios tienen disminuciones en los tiempos de viaje superiores al 10%, mientras que en la mayoría de los casos las ganancias de tiempo

son menores al 5%. La Tabla 3 muestra algunos percentiles de esta distribución. Se observa que para la mitad de los recorridos considerados, el menor tiempo de viaje es menor a un 1%, mientras que para el 90% de los recorridos la disminución en el tiempo de viaje lograda es menor a 5.52%.

Tabla 3. Percentiles disminución en tiempos de viaje

| Percentil | Valor |
|-----------|-------|
| 10 | 0.12% |
| 50 | 0.98% |
| 90 | 5.52% |

3.2. Coeficiente de variación del tiempo de viaje

Las estimaciones del modelo para el coeficiente de variación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Modelos para el coeficiente de variación del tiempo de recorrido.

| Variable | Parámetro | Test-t |
|--------------------------|------------|--------|
| Km de Corredor Segregado | -0.0241053 | -17.85 |
| Km de Vías Exclusivas | -0.0117829 | -6.08 |
| Km de Pistas Solo Bus | -0.0055397 | -6.54 |
| Km de Autopistas Urbanas | 0.0098538 | 4.76 |
| Velocidad de Buses | -0.0329243 | -36.16 |
| Velocidad de Autos | -0.0186777 | -10.94 |
| Distancia | 0.0349049 | 26.61 |
| N° de Subidas | 0.0000582 | 9.92 |
| N° de Paraderos | -0.0080132 | -21.77 |
| N° de Zonas Pagas | -0.0365445 | -11.82 |
| N° de Observaciones | | 13,017 |
| R2 | | 0.4699 |

Las estimaciones de la Tabla 3 indican que la infraestructura dedicada reduciría la variabilidad en los tiempos de viaje, especialmente los corredores segregados. Por otra parte, se observa que las autopistas urbanas tienden a aumentar levemente (pero estadísticamente significativo) la variabilidad de los tiempos de viaje. Esto puede explicarse porque en las autopistas urbanas el paso de una situación sin congestión a una situación con alta congestión es más brusco y menos gradual que en la vialidad convencional.

También se confirma que los recorridos más largos tienden a tener mayor variabilidad en los tiempos de viaje. Lo mismo pasa con una mayor cantidad de pasajeros (subidas).

Los paraderos reducirían la variabilidad de los tiempos de viaje, debido principalmente a que obligan a detenerse a los buses, evitando diferencias significativas de velocidad a lo largo del trayecto. Las zonas pagas también reducirían la variabilidad en el tiempo de viaje; en este caso, debido a que muchos de estos lugares son usados como puntos para regular las frecuencias de Buses.

Otras variables de control, como velocidad de autos y de buses, presentan signo negativo. Es decir, mientras mayor sea la velocidad promedio del sistema, menor será la variabilidad en los tiempos de viaje.

4. Conclusiones

Mediante un análisis de regresión lineal múltiple, se estima el efecto que tiene la infraestructura dedicada para buses en el sistema de transporte público de Santiago, Transantiago, sobre dos indicadores de calidad del servicio que prestan los buses. Como indicadores de calidad del servicio se consideran la velocidad promedio del viaje y el coeficiente de variación del tiempo de viaje de cada recorrido. Usando datos de la operación de Transantiago publicados por el Directorio del Transporte Público Metropolitano, se estimaron modelos de regresión lineal múltiple para explicar los niveles de servicio en función de la infraestructura dedicada (pistas sólo bus, vías exclusivas, corredores segregados), el acceso a segmentos de las autopistas urbanas y otras variables de control. Se encuentra que la infraestructura dedicada para buses mejora los indicadores de calidad de servicio de manera significativa desde un punto de vista estadístico. Sin embargo, al considerar el efecto en los tiempos de viaje de la infraestructura actual, las estimaciones nos indican que para la mitad de los recorridos con infraestructura dedicada, la disminución del tiempo de viaje promedio es menor a un 1% durante las horas punta. Por su parte el uso de las autopistas urbanas impacta positivamente la velocidad promedio del viaje, pero también aumenta su índice de variación.

REFERENCIAS.

Abkowitz, M.D., Engelstein, I., 1983. Factors affecting running time on transit routes. *Transp. Res. Part A Gen.* 17, 107–113. doi:10.1016/0191-2607(83)90064-X

Basso, L.J., Guevara, C.A., Gschwender, A., Fuster, M., 2011. Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion. *Transp. Policy* 18, 676–684. doi:10.1016/j.tranpol.2011.01.002

dell’Olio, L., Ibeas, A., Cecin, P., 2011. The quality of service desired by public transport users. *Transp. Policy* 18, 217–227. doi:10.1016/j.tranpol.2010.08.005

Strathman, J., Dueker, K., Kimpel, T., Gerhart, R., Turner, K., Taylor, P., Callas, S., Griffin, D., Hopper, J., 1999. Automated Bus Dispatching, Operations Control, and Service Reliability: Baseline Analysis. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 1666, 28–36. doi:10.3141/1666-04

Tirachini, A., 2011. Bus dwell time: the effect of different fare collection systems, bus floor level and age of passengers. *Transportmetrica* 1–22. doi:10.1080/18128602.2010.520277

Tirachini, A., Hensher, D.A., Bliemer, M.C.J., 2014. Accounting for travel time variability in the optimal pricing of cars and buses. *Transportation (Amst)*. 41, 947–971. doi:10.1007/s11116-014-9515-8

Valdivieso, V., González F., de Grange, L., Troncoso R., 2017. Variables que Inciden en la Calidad del Servicio de los Buses: Un Análisis Empírico para Santiago. 18° Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte, La Serena.

Zheng, C.-J., Zhang, Y.-H., Feng, X.-J., 2012. Improved iterative prediction for multiple stop arrival time using a support vector machine. *Transport* 27, 158–164. doi:10.3846/16484142.2012.692710