

INCORPORACIÓN DE BENEFICIOS POR REDUCCIÓN DE HACINAMIENTO EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

Rodrigo Contreras, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, rcontreras@mtt.gob.cl

Rodrigo Godoy, rlgodoy@uc.cl

Carlos Mella, Empresa de los Ferrocarriles del Estado, carlos.mella@efe.cl

RESUMEN

La revisión de las prácticas recientes evidencia la necesidad de incorporar dimensiones actualmente no consideradas a la evaluación de proyectos de transporte dentro del contexto del Sistema Nacional de Inversiones de Chile (SNI). En este trabajo se propone y aplica una metodología para incorporar el fenómeno del hacinamiento al análisis del transporte público urbano. La metodología adapta los consistentes resultados de las aproximaciones microeconómicas al problema, compatibilizándolas con las herramientas de simulación estratégica con las que se analizan los proyectos estructurales de transporte. Se evalúan tres proyectos con el método propuesto, concluyendo que el no incluir el concepto de disminución de hacinamiento reduce de forma considerable los beneficios de todos los proyectos evaluados.

Palabras clave: hacinamiento, evaluación social, transporte público.

ABSTRACT

The review of recent practices shows the need to include dimensions not currently considered in transport projects appraisal within the context of the Chilean National Investment System (SNI). In this work, a methodology is proposed and applied to incorporate the phenomenon of overcrowding in the analysis of urban public transport. The methodology adapts the consistent results of microeconomic approaches to the problem, making them compatible with the strategic-level simulation tools with which major transportation projects are analysed. Three projects are evaluated with the proposed method, concluding that the omission of the effects of alleviating overcrowding considerably reduces the benefits of all the evaluated projects.

Keywords: crowding, social appraisal, public transport.

1. INTRODUCCIÓN

Las metodologías con las que se analizan las iniciativas de inversión pública en Chile se enmarcan dentro del Sistema Nacional de Inversiones, que además incluye las normas y procedimientos relevantes desde su formulación hasta su ejecución. En particular, para las intervenciones dentro del sector de transporte, generalmente se instruye que los procesos de evaluación social incluyan un análisis costo-beneficio.

Las intervenciones en los sistemas de transporte generan una amplia gama de efectos, descritos en Litman (2020). Además de los ahorros de tiempo de los usuarios, generalmente el beneficio más relevante en los análisis costo-beneficio, cada país incorpora un conjunto distinto de impactos en la evaluación social (una revisión de varias prácticas nacionales de evaluación de proyectos está en Mackie y Worlsey, 2013). Algunos de los tradicionalmente incluidos son los cambios en costos de operación de los vehículos, la reducción de emisiones, la reducción de accidentes, la confiabilidad del tiempo de viaje, el nivel de congestión percibido y el grado de hacinamiento en los vehículos de transporte público. Además, existe un conjunto de impactos económicos más amplios, de monetización más difícil, dada la ausencia de datos de calidad, cuya discusión toma creciente relevancia. La decisión de qué impactos incluir en la evaluación social es muy importante, pues tratamientos incompletos aumentan la posibilidad de sesgar la inversión hacia proyectos que se adaptan bien a evaluaciones limitadas (como la expansión de carreteras) en desmedro de proyectos y estrategias de inversión de impulso al transporte público (ITF, 2017).

La práctica nacional en evaluación de proyectos de transporte incluye actualmente los beneficios producto de los ahorros en consumo de tiempo y costos de operación de los distintos modos considerados (MDS-Sectra, 2013). Consideraciones adicionales (como impactos ambientales, comodidad del usuario, impactos urbanos, etc.) pueden ser recogidas mediante un análisis multicriterio.

Los numerosos impactos del hacinamiento (entendido como la incomodidad producida por una alta densidad de personas) en el transporte público son descritos en Tirachini *et al.* (2013). En particular, se reconoce que el valor del tiempo de viaje crece conforme aumenta el grado de hacinamiento (pues la disposición a pagar por reducir el tiempo de viaje en condiciones de incomodidad es más alta). La modelación microeconómica de este efecto tradicionalmente utiliza ejercicios de preferencias declaradas para calibrar modelos del tipo logit multinomial. En algunas prácticas avanzadas de evaluación de proyectos, se utilizan estos resultados para considerar valores del tiempo distintos, función del grado de hacinamiento (Mackie y Worsley, 2013).

En este trabajo se presenta una forma para incorporar a la evaluación social de proyectos los beneficios debido a la reducción del hacinamiento, considerando simulaciones a nivel estratégico, típicamente utilizadas en la práctica nacional para proyectos estructurales de transporte público urbano. El método considera que cada minuto consumido en la red simulada de transporte público tiene un precio que es función del grado de hacinamiento que los usuarios del arco experimentan, calculado como un ponderador sobre un valor del tiempo base. La estructura del artículo es la siguiente: en la segunda sección se presenta una revisión bibliográfica sobre dos dimensiones: las descripciones teóricas sobre el efecto del hacinamiento en la valoración de los ahorros de tiempo, y la práctica internacional en evaluación social de proyectos que intenta recoger este fenómeno. En la tercera sección se presenta la definición de una medida de hacinamiento coherente con la práctica actual de simulación de proyectos a nivel estratégico, la forma funcional escogida para el ponderador del valor del tiempo en función del

grado de hacinamiento, y los supuestos necesarios para compatibilizar estos análisis con el valor actualmente vigente. En la cuarta sección se presentan los resultados del uso de este método en la evaluación social de tres proyectos de transporte público, incorporando sensibilizaciones a los parámetros escogidos. Finalmente, se presentan las conclusiones en la quinta sección.

2. ANTECEDENTES

Este capítulo está dividido en dos partes. La primera parte se refiere específicamente a las aproximaciones a las valoraciones del fenómeno del hacinamiento desde la perspectiva microeconómica, mientras que en la segunda parte se presenta resumidamente un panorama sobre la inclusión del hacinamiento en las prácticas de evaluación social de proyectos de transporte.

2.1. Marco Teórico

Según Wardman y Whelan (2011), el impacto del hacinamiento en la valoración del tiempo ya había sido bien estudiado (al menos en trenes) en el Reino Unido. En efecto, su revisión de 17 estudios al respecto permite encontrar algunos enfoques comunes que influyeron notoriamente en los enfoques más recientes. Por otra parte, Li y Hensher (2011) incluyen también en su revisión estudios de otros países, sobre usuarios de bus, y sobre hacinamiento en estaciones.

Generalmente, el enfoque escogido es el de preferencias declaradas, en las que se estudia la propensión del usuario a hacer un canje entre minutos de viaje (o dinero) a cambio de variaciones en el nivel de hacinamiento experimentado en el viaje. Por ejemplo, a partir de la conocida forma funcional de la utilidad modal lineal en tiempo y costo, se postulan funciones de utilidad en las que el parámetro del tiempo depende del grado de hacinamiento:

$$V_i = \alpha_i + \beta(H) \text{ tiempo}_i + \gamma \text{ costo}_i \quad (1)$$

A partir de modelos de elección discreta, generalmente logit multinomial, se encuentra una expresión para la función β . El ponderador por hacinamiento del tiempo de viaje es la función que representa cuánto más desagradable es el tiempo de viaje en condiciones de hacinamiento, respecto de un valor base con hacinamiento cero.

$$P(H) = \frac{\beta(H)}{\beta(H_0)} \quad (2)$$

La forma de presentar el hacinamiento varía entre los experimentos realizados, utilizándose tanto descriptores escritos como diagramas o imágenes representativas. La forma de incluirlo en la función ha sido tanto como factor de carga, número de pasajeros de pie o densidad de pasajeros de pie. Por otra parte, algunos de los estudios han encontrado valoraciones medidas en unidades monetarias por minuto o minutos por minuto, las que pueden interpretarse como variaciones del enfoque de ponderador del tiempo. También se encuentran algunos estudios en los que se obtienen valores de unidades monetarias por viaje. En Whelan y Crockett (2009) se estiman ponderadores del tiempo de viaje en función del largo de éste, encontrándose valores crecientes conforme aumenta la distancia.

También se reconocen percepciones diferentes para el grado de hacinamiento conforme se viaje sentado o de pie. Lo más frecuente es reconocer un crecimiento lineal para el ponderador de tiempo de viaje en función del grado de hacinamiento, usualmente a partir de un punto

relativamente cargado (por ejemplo, cuando quedan pocos asientos disponibles). Wardman y Whelan (2011) mencionan que, si bien la mayoría de los trabajos revisados imponen la linealidad de este efecto, en uno de los estudios en el que se ajustaron distintas formas funcionales, el grado de no linealidad resultó pequeño. No obstante lo anterior, si se expresa la función comenzando desde grados de hacinamiento bajos, aparecen indicios de no linealidad, como en Douglas y Karpouzis (2006). En Fletcher y El-Geneidy (2013), se postula que el efecto del hacinamiento empieza a ser relevante a partir del 60% de ocupación de los vehículos. Wardman y Whelan (2011) postulan el inicio del efecto para factores de carga (definidos como pasajeros/asientos) entre 60% y 90%.

Dentro del contexto nacional, existen trabajos como el de Tirachini *et al.* (2017), que estudia a pasajeros del Metro de Santiago a través de ejercicios de preferencias declaradas, con los que se calibran modelos logit multinomial, logit mixto y de clase latente. El ponderador del tiempo se supone función lineal de la densidad de pasajeros por metro cuadrado, utilizando pendientes distintas dependiendo si el pasajero está sentado o de pie. El mayor ponderador asociado a la densidad máxima (6 pasajeros por metro cuadrado) es de 2.2, para un pasajero de pie.

En Batarce *et al.* (2016), se obtienen ponderadores de valor del tiempo para pasajeros de trenes y de buses, suponiendo parámetros comunes a ambos modos, a través de ejercicios de preferencias declaradas con los que se calibra un modelo logit mixto. El ponderador correspondiente a la densidad máxima (6 pasajeros por metro cuadrado) es de 2.51. Adicionalmente, los autores estudian los efectos en la modelación y análisis costo-beneficio de algunas políticas (aumentos de velocidad, de capacidad y de frecuencia), simulando un corredor simple. Los autores encuentran que al incluir el hacinamiento en la función de utilidad modal cambia las conclusiones de un análisis costo-beneficio estándar, entre otras razones porque el efecto de reducción de hacinamiento resulta mayor que el de las reducciones de tiempo de espera.

2.2.Prácticas de Evaluación

Una revisión sobre prácticas internacionales en evaluación de proyectos de transporte permite detectar los países en los que se considera explícitamente el hacinamiento (una síntesis de las metodologías vigentes hasta ese momento está en Mackie y Worsley, 2013). Esto es generalmente incluido a través de ponderadores de hacinamiento, reconociéndose transversalmente una relación creciente (aunque no necesariamente estricta) entre el valor del tiempo y el grado de hacinamiento. En la tabla 2.1 se muestran algunos aspectos diferenciadores entre las prácticas revisadas.

Tabla 2.1
Selección de prácticas nacionales de evaluación

País	Referencia	Fuente	Modos	Valor máximo
Francia	Quinet (2013)	Estudio ad-hoc	Transporte Público	1,61
Reino Unido	Batley et al. (2019)	Estudio ad-hoc	Bus y Tren	2,14-2,32
Noruega	TOI (2020)	Estudio ad-hoc	Transporte Público	1,65
Nueva Zelanda	NZ Transport Agency (2016)	Metaanálisis	Bus	1,4
Australia - Nacional	ATAP (2018)	Metaanálisis	Bus, LRT, Tren	1,9
Australia - NSW	Transport for NSW (2016)	Estudio ad-hoc	Tren	2,1

Se puede notar, en primer lugar, que la fuente de los multiplicadores es variada. El Reino Unido desarrolló un estudio con trabajo de campo de alcance nacional, mientras que los valores para Francia provienen de encuestas realizadas solamente en París. Por otra parte, las recomendaciones australianas provienen de un análisis de 14 estudios, tanto australianos como neozelandeses.

Respecto de la forma funcional utilizada, Noruega, y Francia explicitan una función lineal a partir de cierto nivel de hacinamiento. En Australia se estimaron funciones exponenciales (aunque con un reducido grado de no linealidad). Por otra parte, en Nueva Zelanda solo se distingue entre pasajeros sentados y de pie, mientras que el Reino Unido presenta una tabla con valores para cinco niveles de densidad distintos para el bus, y diez para el tren.

El crecimiento de la función de hacinamiento está acotado por un valor máximo, correspondiente al multiplicador asociado a la máxima densidad posible, típicamente de 6 pasajeros por metro cuadrado. Las prácticas revisadas reportan valoraciones entre 1,4 y 2,3 veces el valor del tiempo. Esta situación dependerá, entre otros factores, de la condición de hacinamiento de referencia usada para la calibración de los valores.

Sobre la diferenciación por modo, el tren es el único modo estudiado en Nueva Gales del Sur, y los valores para el Reino Unido provienen de una experiencia particularmente extensa. En algunos casos, como en Francia y Noruega, se aplican multiplicadores comunes a todos los modos de transporte público, mientras que el valor del tiempo base es diferenciado para las distintas tecnologías.

No en todas estas prácticas se aplican los ponderadores de hacinamiento a todos los propósitos de viaje. Cuando los viajes de negocios son valorados mediante el enfoque de tasa salarial, el valor del tiempo de viaje es constante, como en Nueva Gales del Sur. En el Reino Unido también se utiliza un valor constante para estos viajes. Por otra parte, dado que en la encuesta de este último país se incluyeron muy pocos viajes de negocios (por no considerarse relevantes en modos como el bus), se utilizan ponderadores distintos para los propósitos de viaje regular y otros, al contrario que Francia, Nueva Zelanda, Australia y Noruega, que no distinguen entre ellos. Más aún, las recomendaciones francesas y australianas no distinguen entre ningún propósito de viaje.

3. MÉTODO

El método propuesto en este trabajo considera, para los usuarios de transporte público, la determinación de valores del tiempo dependientes del grado de hacinamiento que los usuarios experimentan. Los minutos consumidos en cada arco de la red tendrán un costo distinto, dependiendo de qué tanto su demanda de pasajeros se aproxime a la capacidad ofrecida. De esta forma se permite que en la evaluación social, además de capturar beneficios por ahorros de tiempo de viaje, se puedan recoger los efectos de la reducción de hacinamiento, inducida por aumentos de capacidad en el sistema de transporte público.

Para lograr lo anterior, se requiere, en primer lugar, definir una medida de hacinamiento compatible con los resultados de las simulaciones a través del modelo; en segundo lugar, la definición de una función de ponderadores de tiempo de viaje que sea consistente con los hallazgos empíricos; y, finalmente, considerando que el valor social vigente para la evaluación

de proyectos está asociado a un nivel de hacinamiento promedio, traducir la función de ponderadores de tiempo de viaje a una función de valor social en función del grado de hacinamiento.

3.1. Medida de hacinamiento

La práctica habitual para la evaluación social de proyectos estructurales de transporte urbano en Chile supone la comparación de consumo de recursos resultante de la simulación de situaciones base y con proyecto del modelo ESTRAUS (De Cea *et al*, 2003). Este modelo cuenta con la capacidad de modelar el equilibrio de oferta – demanda en redes multimodales de transporte urbano, en específico, en redes que incorporan transporte público de superficie (buses) y en redes independientes (metro, trenes, tranvías). Se considera en forma explícita la asignación de pasajeros a líneas de transporte público, característica necesaria pues, como se mostrará más adelante, es necesario conocer los flujos de pasajeros por servicio (que, en conjunto con la oferta permiten describir el grado de hacinamiento) y los tiempos de viaje en cada arco de la red. Más precisamente, se juzgó que el factor de carga, es decir, la relación entre el flujo y la capacidad es un indicador suficiente para el grado de hacinamiento. La utilización de otra medida, por ejemplo, de densidad de pasajeros por metro cuadrado, requeriría pasos adicionales y supuestos sobre la conversión de unidades adecuada.

Un primer cálculo del grado de hacinamiento promedio en un arco de la red (cuyo tiempo de viaje en equilibrio es resultado de la simulación), lo define como la media ponderada (a través de los flujos) del hacinamiento experimentado por los pasajeros de cada servicio i . Sabiendo que, en cada servicio, el grado de hacinamiento viene dado por el cociente entre el flujo q , y la oferta S , la expresión tomará la forma siguiente:

$$Hac_{arco} = \frac{\sum_i q_i \frac{q_i}{S_i}}{\sum_i q_i} \quad (3)$$

Al estar enfocadas a la identificación de efectos a escala de ciudad completa, las simulaciones a nivel estratégico de los proyectos de transporte público urbano reproducen más adecuadamente los patrones de movimiento a nivel de corredores que a nivel de servicios específicos. Este hecho, además de hacer desaconsejable incorporar distinciones entre pasajeros de pie y sentados a este nivel de análisis, motiva la generación de una aproximación diferente al grado de hacinamiento por arco. Se prefirió en esta propuesta la agregación en cada arco de tanto los flujos como las ofertas de los distintos servicios. El grado de hacinamiento utilizado entonces, vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$Hac_{arco} = \frac{\sum_i q_i}{\sum_i S_i} \quad (4)$$

Es fácil demostrar que esta aproximación es siempre menor al primer cálculo (que requiere conocer con precisión las asignaciones de pasajeros a cada servicio), por lo tanto, se considera que es una aproximación conservadora.

3.2. Función ponderador de hacinamiento

3.2.1. Forma funcional

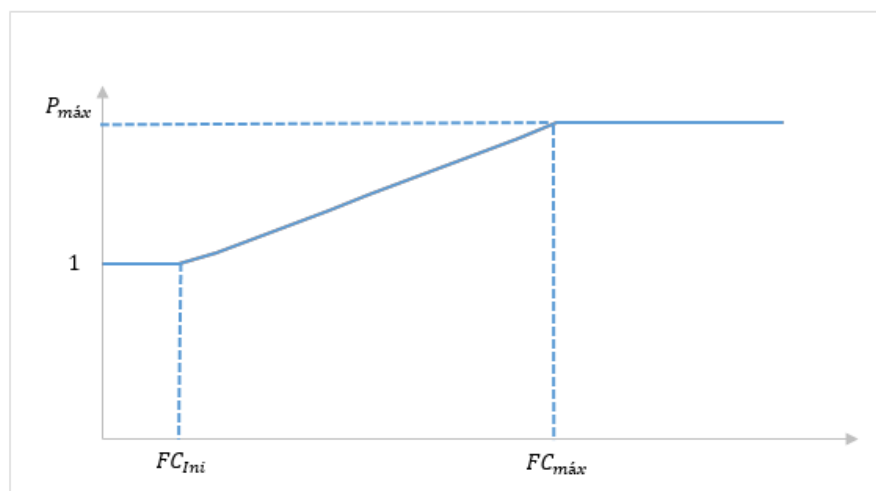
Una vez definida la medida de hacinamiento, es necesario construir una forma para la relación entre ponderadores del valor del tiempo y el grado de hacinamiento, que, inspirada en la práctica

internacional, y considerando las limitaciones que impone el uso de los modelos de simulación estratégica, tome en cuenta las consideraciones teóricas ya descritas en la sección anterior.

La forma funcional elegida consta de un primer tramo horizontal, pues, de acuerdo con la literatura y la práctica internacional (Wardman y Whelan, 2011, Fletcher y El-Geneidy, 2013), se supone que la percepción de hacinamiento se inicia una vez que gran parte de los asientos del vehículo están ocupados. Una vez alcanzado este punto, se elige un crecimiento lineal para el ponderador de hacinamiento, de acuerdo con lo encontrado en Quinet (2013) o en TOI (2020). Dado el uso de simulaciones estratégicas en la aplicación, este crecimiento no puede ser ilimitado y debe necesariamente congelarse para factores de carga elevados, con el fin de evitar contabilizar reducciones de hacinamiento ficticias, provenientes de inadecuadas representaciones del modelo.

Se trabajará entonces con funciones de la forma indicada en la figura 3.1. Como se verá a continuación, y como se observa en las prácticas de) el parámetro FC_{ini} puede ser distinto para cada tipo de vehículo considerado en el análisis.

Figura 3.1
Forma funcional escogida



3.2.2. Elección de parámetros

La función de ponderador de valor social en esta propuesta, estará completamente definida una vez elegidos los parámetros FC_{ini} , $FC_{máx}$ y $P_{máx}$. Aún cuando la elección de estos parámetros pretende ser fundamentada, el impacto de estas definiciones en los indicadores de rentabilidad de los proyectos analizados se estudiará a través de sensibilizaciones, en la sección siguiente.

En primer lugar, para la elección de FC_{ini} , se siguió un procedimiento acorde a lo expuesto en la sección anterior, reconociendo el punto de inicio de percepción de hacinamiento cuando gran parte (en torno al 75%) de los asientos del vehículo se encuentre ocupada. La elección para el valor de FC_{ini} vendrá dada por:

$$FC_{ini} \approx \frac{3}{4} \times FC_{asientos\ ocupados}$$

Para identificar qué porcentaje de la capacidad total de los vehículos corresponde a asientos, fue necesario realizar una caracterización de los vehículos que prestan servicios de transporte público en el país.

En primer lugar, respecto de los servicios de buses, se presentan en la Tabla 3.1 los valores referenciales utilizados para la relación entre número de asientos y capacidad total del vehículo.

Tabla 3.1
Capacidades totales y número de asientos para buses urbanos

Tipo de Vehículo	Capacidad (pasajeros)	Asientos	Pasajeros de pie
Taxibuses	44	29 (66%)	15 (34%)
Buses	92	25 (27%)	67 (73%)
Buses articulados	161	35 (22%)	126 (78%)

Se observa que el factor de carga para el cual se utilizan completamente los asientos es similar para buses articulados y buses de 12 metros, como los usados en Santiago. En los taxibuses, que son casi la totalidad de la flota ofrecida en regiones, los asientos representan un mucho mayor porcentaje de su capacidad total.

De esta forma, se obtienen valores extremos para $FC_{asientos\ ocupados}$ de 0.25 y 0.66, asociados a los casos en que la flota completa está compuesta de buses o de taxibuses, respectivamente. Se decidió que el escenario central estará descrito por un valor de 0.3, levemente mayor al correspondiente a la flota mixta característica de Santiago, y cercano a un valor representativo nacional. Así, se elige un FC_{ini} igual a 0.25.

Se puede notar que, al elegir trabajar con grados de hacinamiento agregados, característicos de cada arco y no de cada servicio, tiene sentido definir un valor promedio cada vez que la ciudad en la que se ubica el proyecto posea una flota compuesta de distintos tipos de buses.

Respecto de los trenes, la caracterización de los sistemas urbanos vigentes es la indicada en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2
Capacidades totales y número de asientos para trenes urbanos

Modo	Capacidad (pasajeros)	Asientos	De Pie
Merval	511	99 (19%)	411 (81%)
Metro de Santiago	202	29 (15%)	173 (85%)
Tren Nos	518	96 (19%)	422 (81%)
Biotrén	813	258 (32%)	555 (68%)

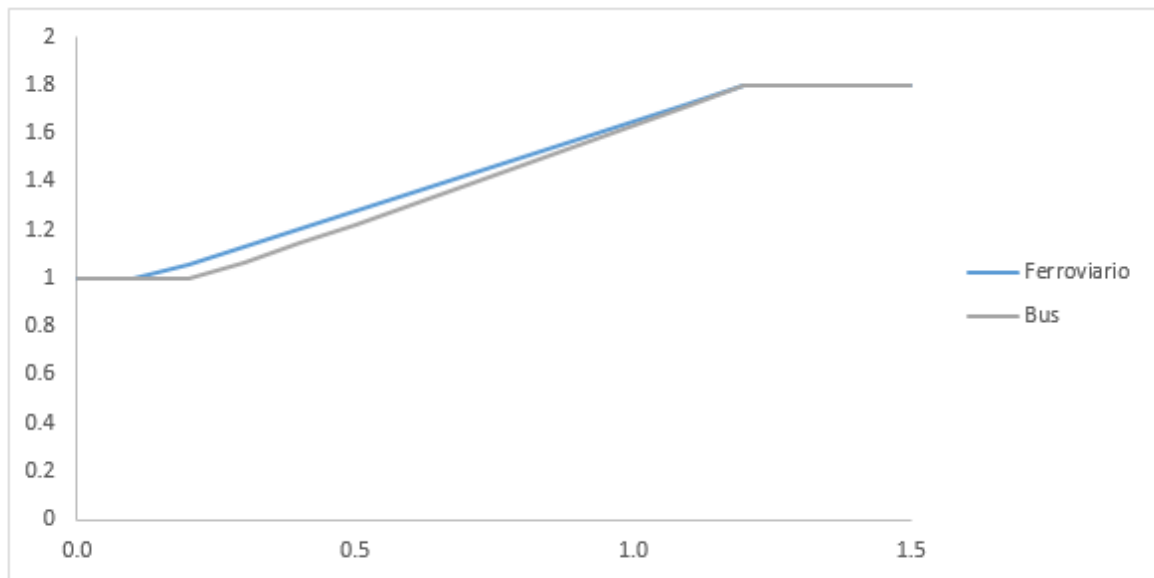
Se observan valores más bajos y más similares entre sí que los encontrados en distintos tipos de buses. Para este modo, se decidió un FC_{ini} de 0.16, correspondiente al promedio ponderado nacional.

Respecto de $FC_{máx}$, se decide un valor igual a 1.2, pues, de la revisión de numerosas simulaciones estratégicas en distintas ciudades se considera que factores de carga mayores constituyen en general resultados alejados de la realidad, y no servicios sobresaturados. El uso de un factor de carga a partir del cual el ponderador del valor del tiempo de viaje no cambia permite limitar la inclusión de beneficios ficticios provenientes de la reducción de factores de carga no representativos.

Finalmente, de la revisión de prácticas internacionales, se decidió seleccionar, como supuesto conservador, un ponderador máximo $P_{máx}$ de 1.8, equivalente al valor promedio de los ponderadores máximos presentados en la tabla 2.1.

En la figura 3.2 se muestran las funciones escogidas para el modo bus y el modo ferrocarril urbano.

Figura 3.2
Ponderadores del precio social, según modo



3.3. Función Valor Social del Tiempo

Una vez escogidos los parámetros característicos, el ponderador del valor del tiempo está completamente definido en función de los factores de carga. Resta, sin embargo, vincular estos ponderadores al precio social vigente, para poder expresar el valor social del tiempo (función del factor de carga) en unidades monetarias.

Para esto, en primer lugar, se asumirá que el valor social del tiempo en transporte público urbano actualmente vigente para usarse en evaluación social de proyectos, corresponde al precio de un minuto típico. Se requerirá entonces, en segundo lugar, una aproximación al ponderador de hacinamiento promedio nacional.

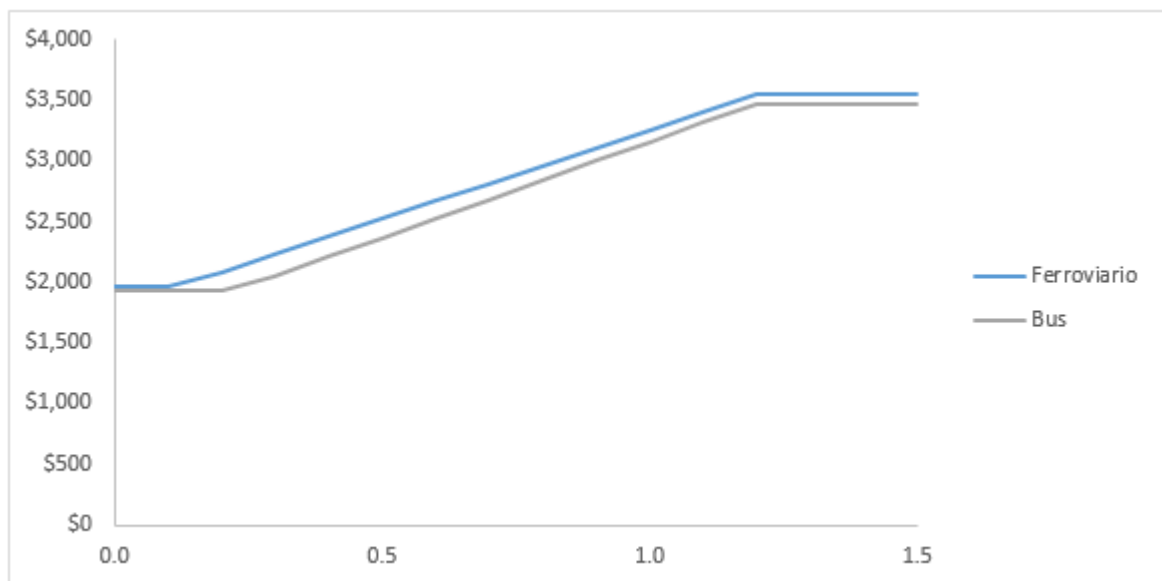
Con este objetivo, se obtuvo una muestra de aplicaciones de modelos estratégicos de transporte en doce ciudades del país, cuya operación en la situación base fue simulada para dos períodos de análisis: punta mañana y fuera de punta, ambos de un día laboral normal. A partir de las modelaciones de cada ciudad se calculó el ponderador promedio para cada minuto consumido en la red de transporte público, para cada período y cada modo. Posteriormente se supuso que el día laboral normal estaba bien representado (en todas las ciudades excepto Santiago) por 4 horas punta y 10 horas fuera de punta. Para Santiago se consideró el día laboral normal compuesto por 6 horas punta y 10 fuera de punta. Se escoge esta proporción de horas teniendo en cuenta las diferencias en el funcionamiento del transporte público entre ciudades. Posteriormente se obtuvo, usando nuevamente los minutos consumidos como peso, un ponderador promedio nacional. Los resultados de este procedimiento se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3
Ponderadores promedio de hacinamiento por modo

Modo	Ponderador Promedio
Buses	1.262
Trenes	1.237

Finalmente, se le asoció al valor social del tiempo vigente en el año 2021 (2.434 CLP/h) un ponderador de hacinamiento igual al promedio de cada modo. Se obtienen las curvas de la figura 3.3, en donde se evidencia una pequeña diferencia en los valores del tiempo base y máximos, debido al uso de ponderadores promedio distintos por modo.

Figura 3.3
Funciones de valor del tiempo por modo



4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las evaluaciones sociales para los siguientes tres proyectos: Línea 8 Metro de Santiago, Línea 9 Metro de Santiago y ampliación de capacidad de Biotrén. Los trazados aproximados de los proyectos se muestran en la figura 4.1.

El proyecto de Línea 8 de Metro se ubica en la ciudad de Santiago en el eje Av. La Florida – Macul - Los Leones, atravesando las comunas de Puente Alto, La Florida, Macul, Ñuñoa y Providencia, tiene 18,9 kilómetros de longitud con 14 estaciones, donde combina con otras 4 líneas (líneas 1, 3, 4 y 6). El proyecto de Línea 9 de Metro se ubica en la ciudad de Santiago en el eje Av. Santa Rosa atravesando las comunas de La Pintana, San Ramón, La Granja, San Joaquín, San Miguel y Santiago, tiene 16,8 kilómetros de longitud con 13 estaciones, y combina con otras 4 líneas (líneas 1, 3, 4A y 6). El proyecto de ampliación de capacidad de Biotrén consiste en mejorar la frecuencia de los trenes de la red de Concepción, reduciéndose los intervalos en el tramo Talcahuano – Hualqui de 30 a 11 minutos en horario punta y de 30 a 14 minutos en horario valle. Para el tramo Coronel – Concepción los intervalos pasan de 30 a 14 minutos en horario valle.

Los impactos de reducción de hacinamiento para cada proyecto se muestran gráficamente en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, respectivamente.

Figura 4.1.
Trazados referenciales de proyectos simulados: Líneas 8 y 9 de Metro de Santiago y ampliación de capacidad de Biotrén

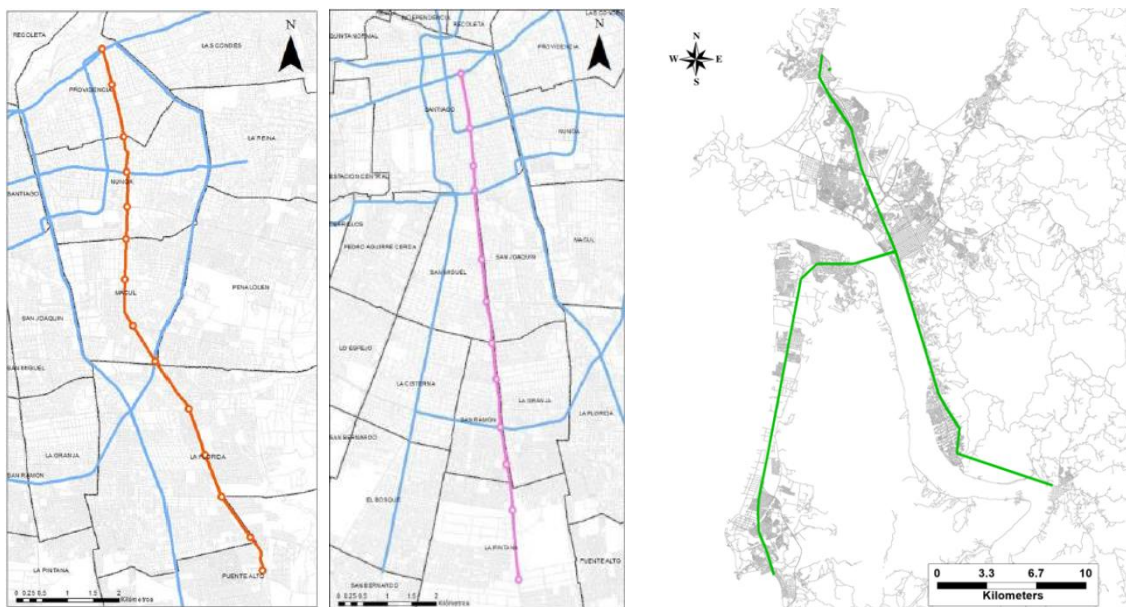


Figura 4.2
Factores de carga transporte público de Santiago, situación base y con Línea 8

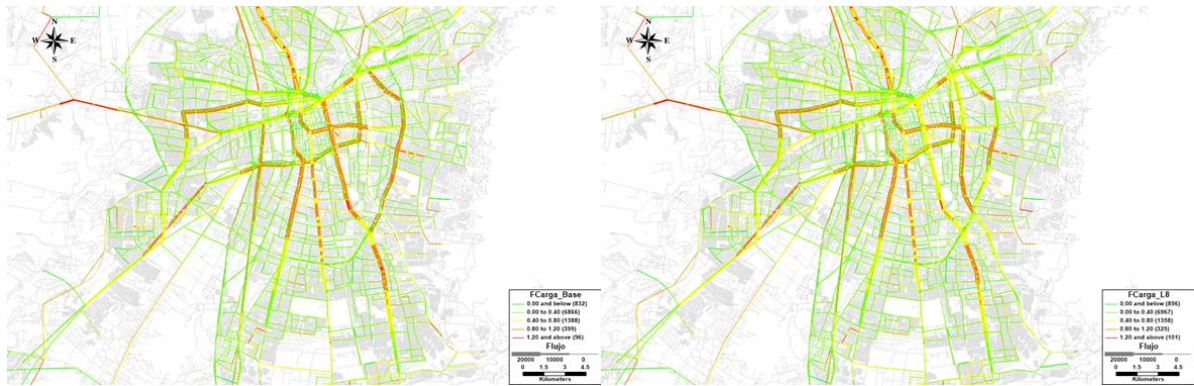


Figura 4.3
Factores de carga transporte público de Santiago, situación base y con Línea 9

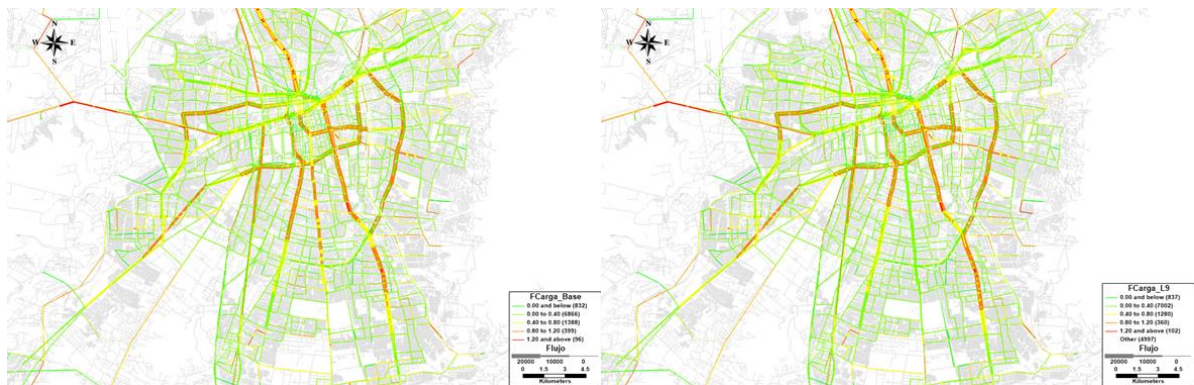
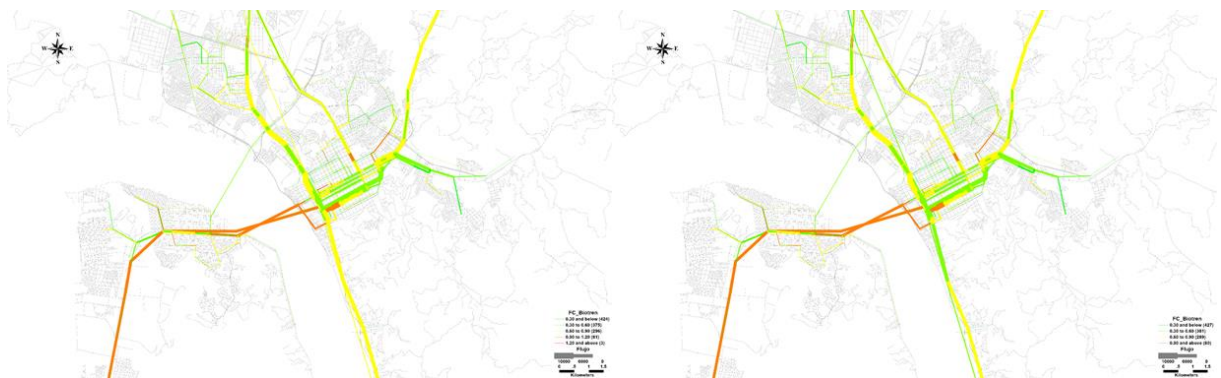


Figura 4.4
Factores de carga transporte público de Gran Concepción, situación base y Biotrén ampliado



Los resultados para estas evaluaciones sociales son referenciales, en el sentido en que se utilizó una estimación muy sencilla para los costos de cada uno de los proyectos, basada en un precio referencial, (USD 90 MM por kilómetro para los proyectos de Metro de Santiago y USD 6 MM para cada tren en el proyecto de Concepción). Por esta razón, el énfasis en la presentación de estos resultados se centra en la comparación entre las metodologías alternativas de evaluación.

Para cada proyecto se presenta, en la tabla 4.1, la tasa interna de retorno (TIR) aproximada, y los beneficios calculados para los usuarios de transporte público (normalizados respecto de la evaluación tradicional, que no incorpora hacinamiento, cuyo nivel se asume igual a 100). Se presenta el caso central, con la elección de parámetros indicada en la sección anterior, así como los resultados de las sensibilizaciones respecto de FC_{ini} , $FC_{máx}$ y $P_{máx}$.

Tabla 4.1
Indicadores de rentabilidad proyectos evaluados, distintos escenarios

Proyecto	Línea 8 Santiago		Línea 9 Santiago		Ampliación Biotrén	
	TIR	Beneficios T. Público	TIR	Beneficios T. Público	TIR	Beneficios T. Público
Ev. Tradicional	6.43%	100	6.54%	100	7.22%	100
Con hacinamiento, $FC_{ini} = 0.25$, $FC_{máx} = 1.2$, $P_{máx} = 1.8$	7.57%	124	7.60%	130	9.06%	119
$FC_{ini} = 0.2$	7.58%	124	7.61%	130	9.08%	119
$FC_{ini} = 0.5$	7.44%	121	7.46%	125	8.81%	116
$FC_{máx} = 1$	7.77%	129	7.78%	135	9.48%	124
$FC_{máx} = 1.5$	7.47%	122	7.26%	120	8.66%	115
$P_{máx} = 1.5$	7.42%	121	7.51%	128	8.39%	112
$P_{máx} = 2$	7.67%	126	7.64%	131	9.45%	123

Se observa que la magnitud de los beneficios adicionales debidos a la incorporación de hacinamiento fluctúa entre un 19% y un 30%, para los parámetros del caso central. Así, la omisión de esta dimensión del viaje en la evaluación social de los proyectos afecta considerablemente su rentabilidad. Los escenarios de sensibilidad evaluados permiten mostrar que la selección de los parámetros afecta sólo modestamente este resultado.

La selección de un mayor valor para FC_{ini} , que buscaría reconocer el de buses más pequeños (como los del Gran Concepción), reduce marginalmente la rentabilidad estimada para los proyectos. Los cambios en $FC_{máx}$ afectan a los beneficios en el mismo sentido. De acuerdo a lo esperado, el aumentar el valor de $P_{máx}$ tiende a aumentar los beneficios adicionales por concepto de reducción de hacinamiento.

El impacto relativo de las variaciones en los valores elegidos para cada parámetro es distinta para cada proyecto. La mayor amplitud encontrada es en la evaluación del proyecto de ampliación de capacidad del Biotrén ante cambios en $P_{máx}$. Cabe destacar que es también este proyecto el que presentaba originalmente una mayor rentabilidad.

5. CONCLUSIONES

El hacinamiento es una dimensión relacionada con el bienestar de los usuarios de transporte público que no ha sido abordada hasta el momento por las metodologías nacionales de evaluación de proyectos de transporte. En este trabajo se ha propuesto una forma para recoger los efectos de intervenciones que alteren el grado de hacinamiento de los vehículos de transporte público, a través de simulaciones con un modelo capaz de representar esta variable.

La inclusión de este fenómeno, distinto al ahorro de tiempo, aporta beneficios que, para los tres proyectos analizados, constituyen entre un 19% y un 30% de los tradicionalmente contabilizados para los usuarios de modos públicos de transporte. La propuesta tiende entonces a favorecer a los proyectos que aumentan la oferta de transporte público.

La metodología se basa en una definición para la forma funcional del ponderador de tiempo de viaje en función de un grado de hacinamiento característico del arco. Como se considera que aproximar el grado de hacinamiento experimentado por los usuarios por un valor agregado para el arco completo es un supuesto bastante grueso, se considera que no es provechoso mantener la reconocida distinción entre pasajeros sentados y de pie.

Para la definición práctica de funciones de valor social en función del vehículo y del grado de hacinamiento, es necesario fijar valores para tres parámetros: el factor de carga a partir del cual se comienza a percibir hacinamiento, un factor de carga máximo a contar del cual se considerará un valor del tiempo constante, y el ponderador máximo. Solo la definición del primer parámetro es descriptor de una situación observada, siendo la definición del segundo un asunto de convención sobre prácticas de modelación, y la del tercero una cuestión mixta entre comparación de prácticas y política.

Una decisión que a propósito no se ha mencionado, es sobre si utilizar para FC_{ini} descriptores nacionales o valores representativos de la realidad local. Sí se puede afirmar que, de la revisión de las prácticas internacionales, lo más frecuente parece ser la utilización de valores únicos, aun cuando puedan exigir diferencias entre las características físicas o las configuraciones de los vehículos de transporte público en distintas localidades. Respecto de los proyectos presentados, tendría sentido el postular que la flota de transporte público de superficie de la ciudad del Gran Concepción se ve mejor representada por un FC_{ini} igual a 0,5. El análisis de sensibilidad de la Tabla 4.1 muestra que la rentabilidad del proyecto disminuiría. Para este trabajo se consideró en el escenario central el mismo conjunto de parámetros para los tres proyectos, independientemente de su localización.

En cualquier caso, el análisis de sensibilidad realizado muestra que el impacto de la selección de valores específicos para los tres parámetros de la función de valor social del tiempo afecta de forma modesta los indicadores de rentabilidad obtenidos. Esto es particularmente cierto para FC_{ini} .

El aumento de beneficios supuesto por la incorporación de la reducción de hacinamiento se sostiene aún en los casos en que se eligen los valores que entregan resultados más conservadores para la definición de la función valor social del tiempo.

Los ejemplos presentados en este trabajo descansan en simulaciones estratégicas, por lo que la propuesta en su estado actual es aplicable a los proyectos cuya evaluación social considere dicho nivel de análisis. Además de servicios de ferrocarril urbano, pueden estudiarse planes de corredores de transporte público.

El enfoque presentado puede adaptarse a la herramienta de simulación de la que se disponga. Será factible reproducir esta propuesta metodológica para estudiar intervenciones de un alcance más limitado (por ejemplo, a través de un análisis táctico) en la medida que el modelo seleccionado para asignar pasajeros de transporte público entregue resultados en términos de tiempos de viaje y cargas de los servicios. En este mismo nivel de análisis también sería factible estudiar los impactos de estrategias de configuración de los vehículos tales como la modificación del número de asientos. En cualquier caso, el enfoque propuesto no considera

diferenciar entre pasajeros sentados y de pie, requiriéndose un tratamiento más detallado para evaluar los impactos de estas últimas medidas a nivel de línea.

Una línea futura debería apuntar a la inclusión del hacinamiento no solamente en la evaluación social de proyectos, sino que también en la modelación. En las simulaciones estratégicas actuales sólo se recoge un aumento de tiempos de espera si es que los vehículos de transporte público se encuentran cargados cerca de su capacidad (que es un impacto relevante), mas no se modela la mayor desutilidad en el tiempo de viaje.

Es posible identificar como líneas futuras de avance, la modelación y posterior evaluación social del hacinamiento durante los tiempos de espera (en andenes o estaciones), y el tratamiento de otros modos como tranvías. Se juzga que el tratamiento propuesto para el hacinamiento para la evaluación social de proyectos es un buen punto de partida para abordar tales situaciones.

6. REFERENCIAS

ATAP (2018). Australian Transport Assessment and Planning Guidelines: M1 Public Transport. Australian Transport and Infrastructure Council, Canberra.

Batarce, M., Muñoz, J.C y Ortúzar, J. de D. (2016). Value crowding in public transport: implications for cost-benefit analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice** 91, 358-378.

Batley, R., Bates, J., Bliemer, M., Börjesson, M., Bourdon, J., Ojeda Cabral, M., Chintakayala, P.K., Choudhury, C., Daly, A., Dekker, T., Drivyla, E., Fowkes, T., Hess, S., Heywood, C., Johnson, D., Laird, J., Mackie, P., Parkin, J., Sanders, S., Sheldon, R., Wardman, M. y Worsley, T. (2019). New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. **Transportation** 46, 583-621.

De Cea, J., Fernández, E., Dekock, V., Soto, A., Friez, T. (2003). ESTRAUS: a computer package for solving supply-demand equilibrium problems on multimodal urban transportation networks with multiple user classes. **In: Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting**, Washington, DC.

Douglas, N., Karpouzis, G. (2006). Estimating the passenger cost of train over-crowding. **Paper Presented at the 29th Australasian Transport Research Forum**, Gold Coast, Septiembre 2006.

Fletcher, G., El-Geneidy, A. Effects of Fare Payment Types and Crowding on Dwell Time: Fine-Grained Analysis. **Transportation Research Record**. 2013;2351(1):124-132.

ITF (2017). Quantifying the Socio-economic Benefits of Transport, **ITF Roundtable Reports**, OECD Publishing, Paris.

Li, Z. y Hensher, D. A. (2011). Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. **Transport Policy**, 18, 880-887.

Litman, T. (2020), Evaluating Public Transit Benefits and Costs. Best Practices Guidebook, Victoria Transport Policy Institute.

Mackie, P y Worsley, T. (2013). International Comparisons of Transport Appraisal Practice. Institute for Transport Studies.

MDS-SECTRA (2013). Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU).

MIDEPLAN-SECTRA (2008). Actualización Metodológica Análisis Sistema de Transporte de Ciudades de Gran Tamaño y Tamaño Medio (MESPE).

NZ Transport Agency (2016) Economic Evaluation Manual. New Zealand Transport Agency, Wellington.

Quinet, E. (2013), L'évaluation socio-économique des investissements publics, Report of the Commissariat-General for Strategy and Foresight, Paris.

Tirachini, A., Hensher, D. A. & Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 53, 36-52.

Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T., Daziano, R. (2017) Estimation of crowding discomfort in public transport: Results from Santiago de Chile. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 103, 311-326.

TOI (Institute of Transport Economics – Norwegian Centre for Transport Studies) (2020) Value of travel time and related factors – Technical report. TOI Report 1762/2020.

Transport for NSW (2016) Principles and Guidelines for Economic Appraisal of Transport Investment and Initiatives: Transport Economic Appraisal Guidelines. Transport for New South Wales, Haymarket.

Whelan, G. y Crockett, J. (2009). An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. In: International Conference on Choice Modelling, Harrogate, England.