

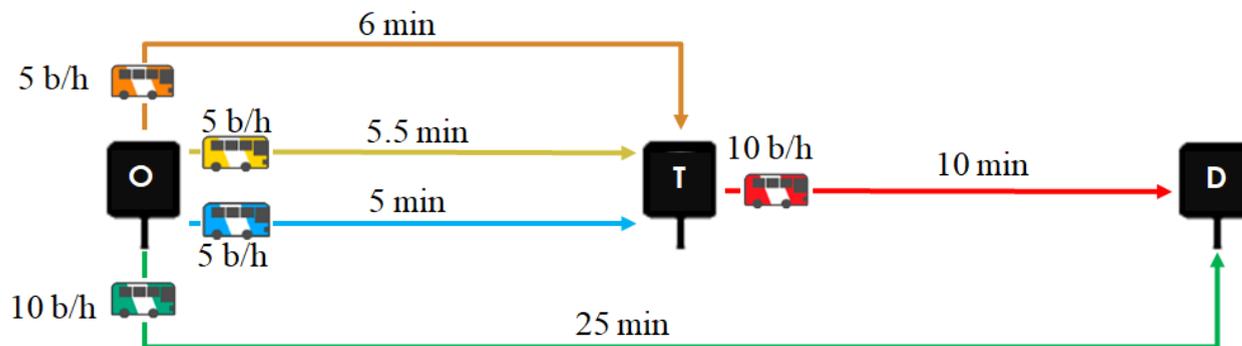
Observando y entendiendo el uso de estrategias en elección de ruta de pasajeros del sistema de transporte público de Santiago

Jacqueline Arriagada, Marcela Munizaga y Angelo Guevara

Universidad de Chile

9 de Octubre, 2019

Estrategias de elección de ruta

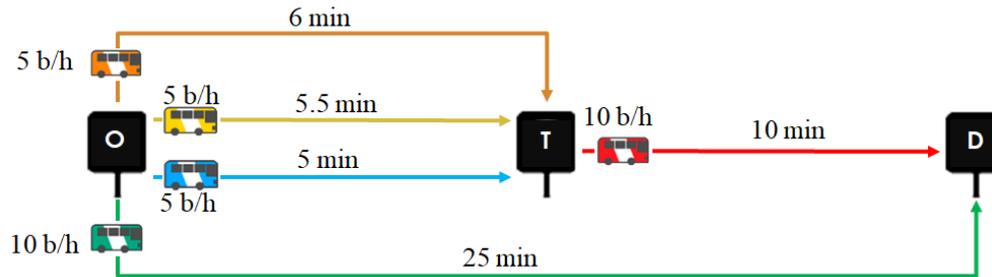


Estrategias:

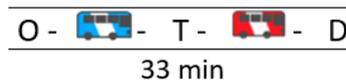
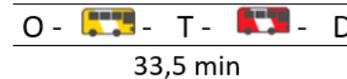
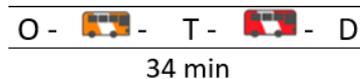
- Estrategia elemental (Spiess y Florian, 1988)
- Estrategia agregada (Raveau y Muñoz, 2014)
- Estrategia hiper-ruta (Spiess y Florian, 1988; Nguyen y Pallotino, 1998)

Estrategia elemental

Se definen paraderos y servicios específicos a utilizar en la ruta.



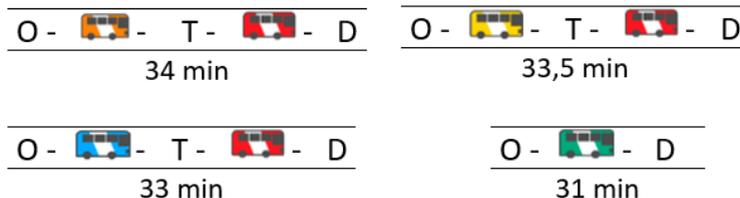
Alternativas elementales



Estrategia elemental

Se definen paraderos y servicios específicos a utilizar en la ruta.

Alternativas elementales

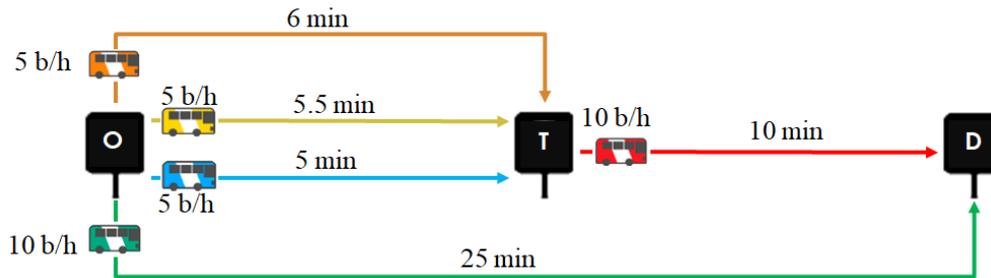


Implementación práctica de estrategia elemental

- Utilidad determinística: Itinerario mínimo (Raveau y Muñoz, 2014)
- Utilidad aleatoria: Logit Multinomial, Path Size Logit, Logit mixto (Raveau et al., 2011; Bovy Hoogendoorn-Lanser, 2007; Anderson et al., 2014)

Estrategia agregada

Se define una secuencia de paraderos y conjunto de líneas comunes entre paraderos consecutivos.



Alternativas agregadas



Estrategia agregada

Se define una secuencia de paraderos y conjunto de líneas comunes entre paraderos consecutivos.

Alternativas agregadas

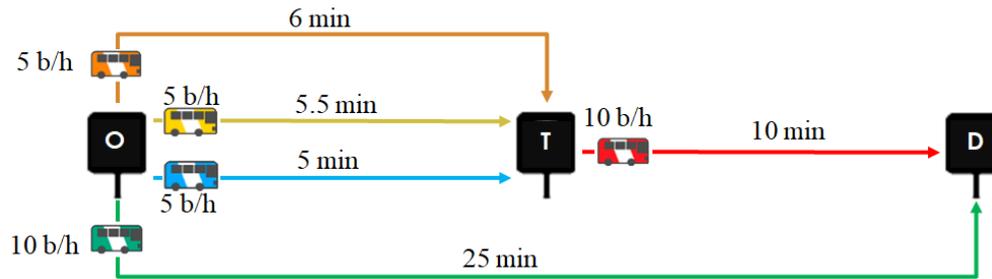


Implementación práctica de estrategia agregada

- Utilidad determinística: Ruta mínima (Raveau y Muñoz, 2014)
- Utilidad aleatoria: Logit Multinomial (Raveau y Muñoz, 2014)

Estrategia hiper-ruta

Conjunto de caminos atractivos para el pasajero que le permiten alcanzar el destino desde un origen dado.



Implementación práctica de estrategia hiper-ruta

- Utilidad determinística: hiper-ruta mínima (Spiess and Florian, 1988; Nguyen and Pallotino, 1998)

Objetivo de estudio

¿Qué estrategias están siendo utilizadas por los pasajeros del sistema de transporte público de Santiago?

- **Estrategia elemental:** itinerario mínimo (determinístico)
- **Estrategia agregada:** ruta mínima (determinístico)
- **Estrategia hiper-ruta:** hiper-ruta mínima (determinístico)

Datos de estudio: Santiago

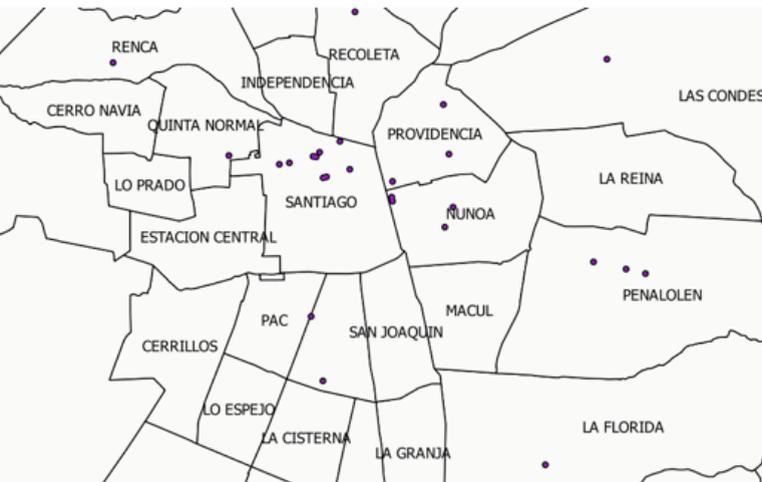


- 300 servicios de buses, en ambas direcciones
- 7 líneas de metro
- +11.000 paraderos
- 3 millones de pasajeros por semana

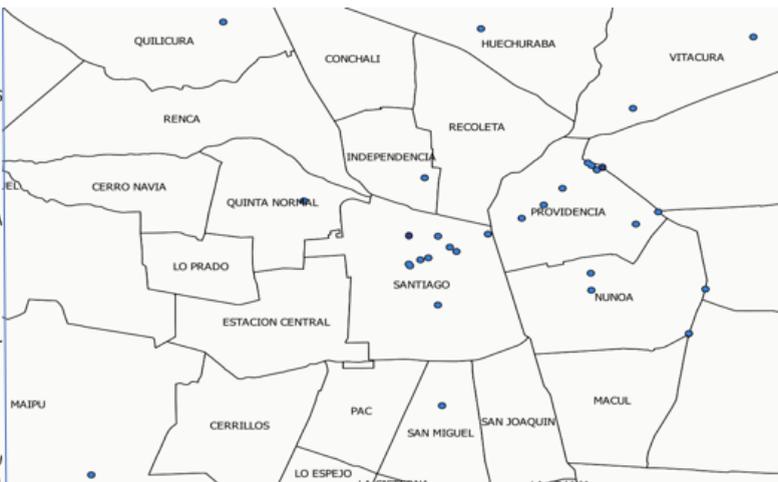
Datos de estudio: Santiago

- **40 Pares origen-destino** de la ciudad de Santiago
- 20 días laborales en periodo punta mañana
- **14.386 viajes** observados
- En promedio **6 alternativas elementales** utilizadas/observadas.

Orígenes

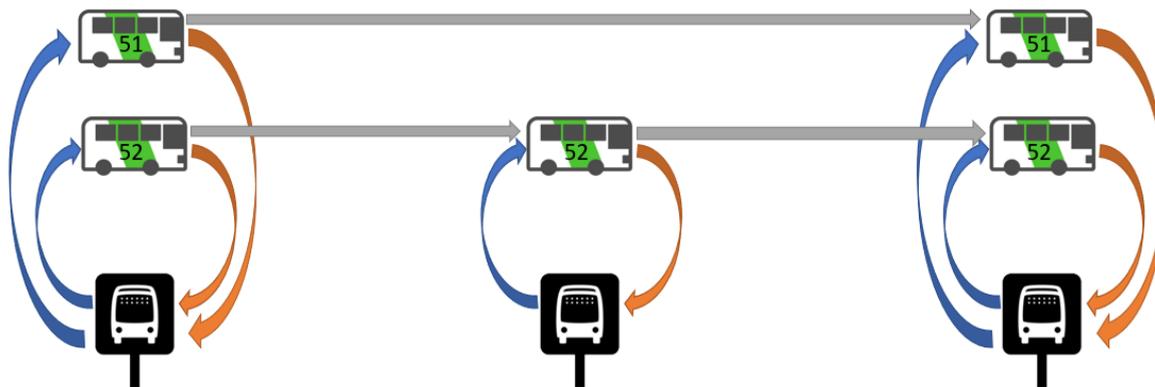


Destinos

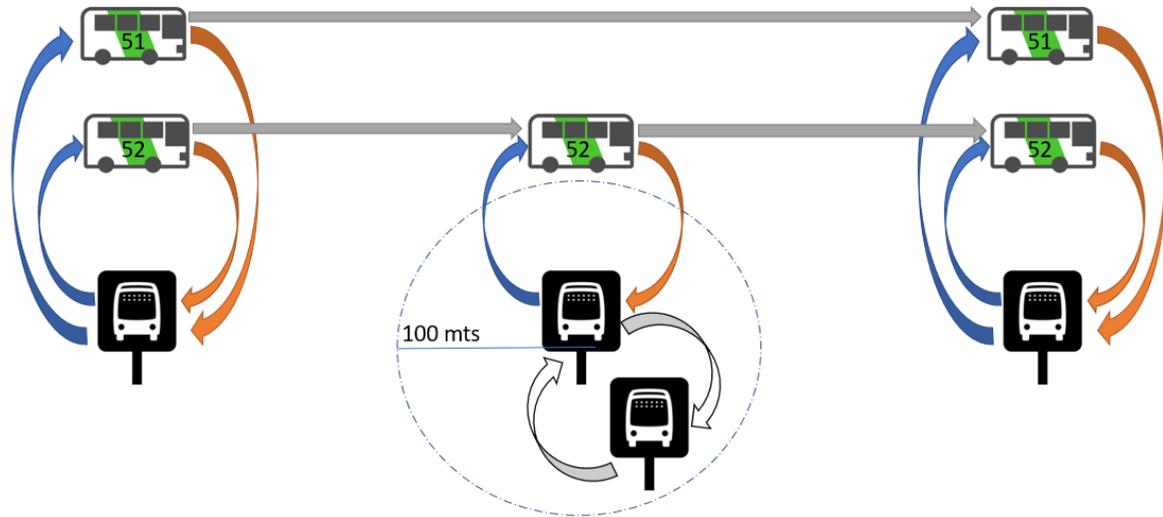
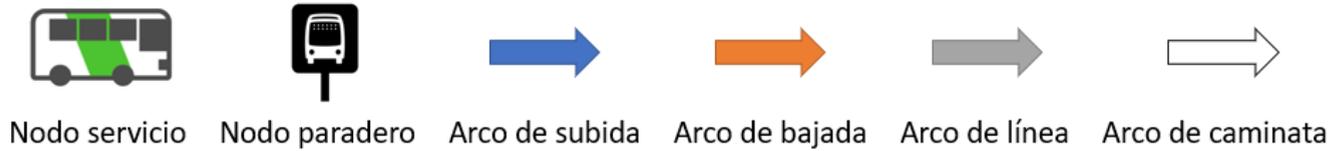


Representación de la red de Santiago

Datos GTFS y Adatrap (GPS de buses y validaciones bip!)



Representación de la red de Santiago



Generación de estrategias mínimas

Función Objetivo:

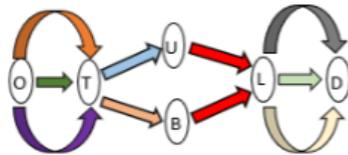
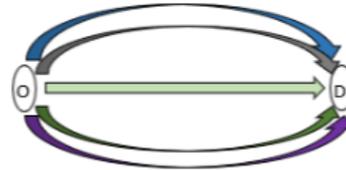
$$\min_{x_{a \in \{0,1\}}} \left\{ \underbrace{\sum_{a \in A} \frac{t_a f_a x_a}{\sum_{a \in A} f_a x_a}}_{\text{Tiempo de viaje}} + \sum_{i \in I} \underbrace{\frac{1}{\sum_{a \in A} f_a x_a}}_{\text{Tiempo de espera}} \right\}$$

64% de los **viajes observados** tiene su ruta elemental contenida en la **hiper-ruta mínima**.

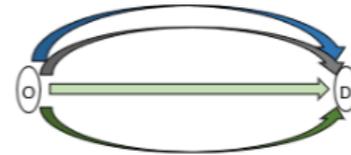
52% de los **viajes observados** tiene su ruta elemental contenida en la **ruta mínima**.

39% de los **viajes observados** tiene su ruta elemental contenida en el **itinerario mínimo**.

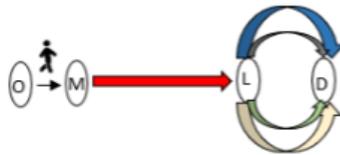
Generación de estrategias mínimas



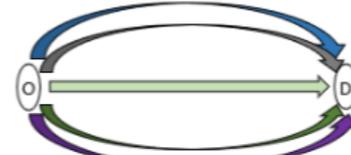
Hiper-ruta mínima, 18 rutas elementales



Hiper-ruta mínima con penalización en
trasbordo



Hiper-ruta mínima con penalización en tiempo
de espera



Hiper-ruta mínima con penalización en
trasbordo y tiempo de espera

Van der Waard (1988); Nielsen y Johansen (2012); García-Martínez et al. (2018)

Generación de estrategias mínimas

Penalización de trasbordo en hiper-ruta

$$y_{a:i \rightarrow j} = \begin{cases} 1 & \text{si } a \text{ es arco de bajada; } j \neq D \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$\min_{x_a \in \{0,1\}} \left\{ \underbrace{\sum_{a \in A} \frac{k y_a f_a x_a}{\sum_{a \in A} f_a x_a}}_{\text{Penalización por trasbordo}} + \underbrace{\sum_{a \in A} \frac{t_a f_a x_a}{\sum_{a \in A} f_a x_a}}_{\text{Tiempo de viaje}} + \underbrace{\sum_{i \in I} \frac{1}{\sum_{a \in A} f_a x_a}}_{\text{Tiempo de espera}} \right\}$$

Generación de estrategias mínimas

Penalización de trasbordo

Penalización trasbordo [min]	VHM/VT	VRM/VT	VIM/VT
0	64%	52%	39%
5	72,7%	69%	38%
6	72,7%	71%	39%
7	73%	73%	41%
10	73%	73%	41%
15	73%	73%	41%
20	73%	73%	41%

VT: Viajes Totales

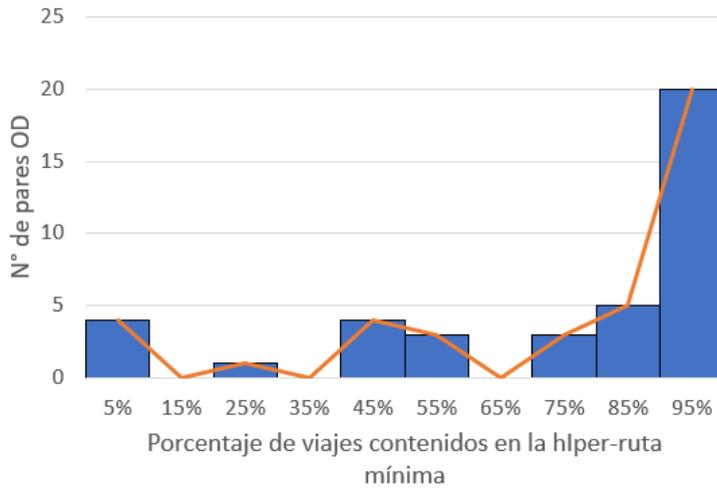
VHM: Viajes en hiper-ruta mínima

VRM: Viajes en ruta mínima

VIM: Viajes en itinerario mínimo

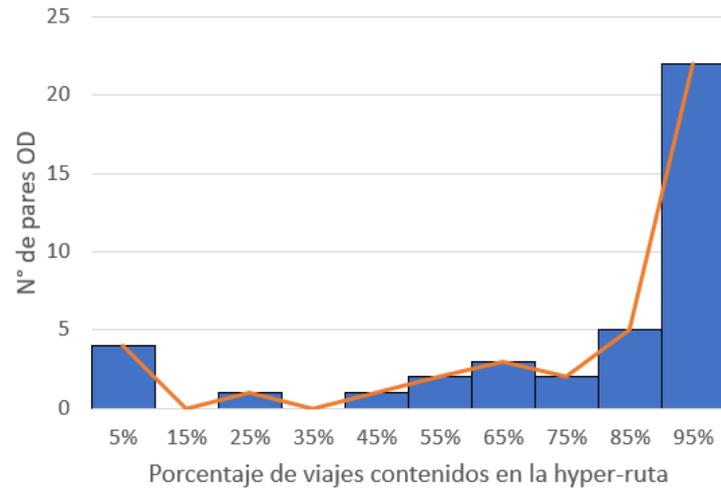
Análisis de estrategias

Penalización en trasbordo



73% de los viajes se realiza en hiper-ruta

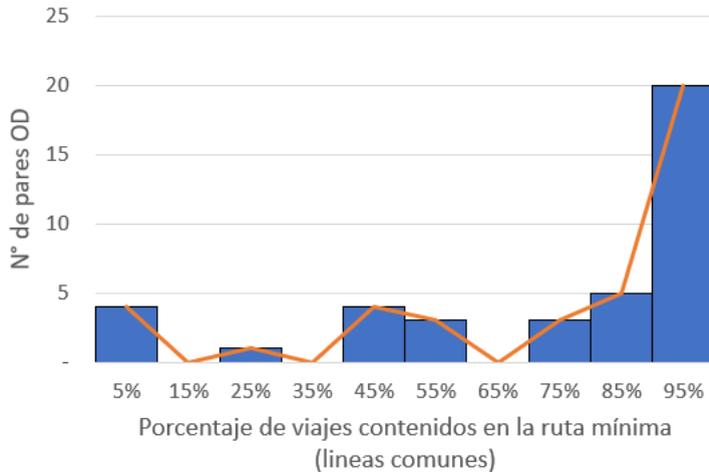
Penalización en trasbordo y tiempo de espera



77% de los viajes se realiza en hiper-ruta

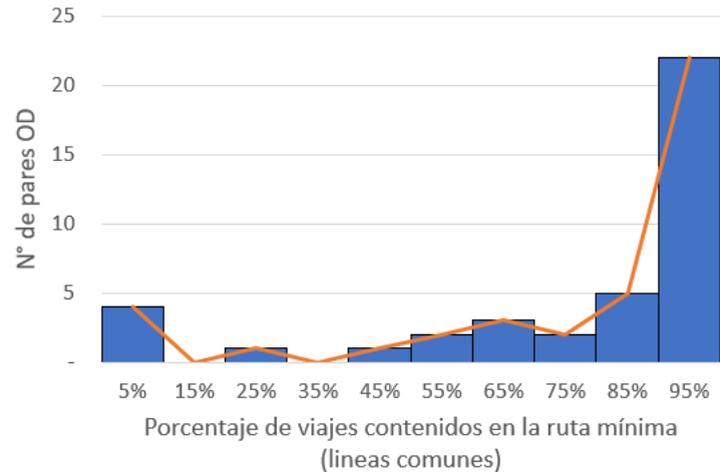
Análisis de estrategias

Penalización en trasbordo



73% de los viajes se realiza en ruta mínima

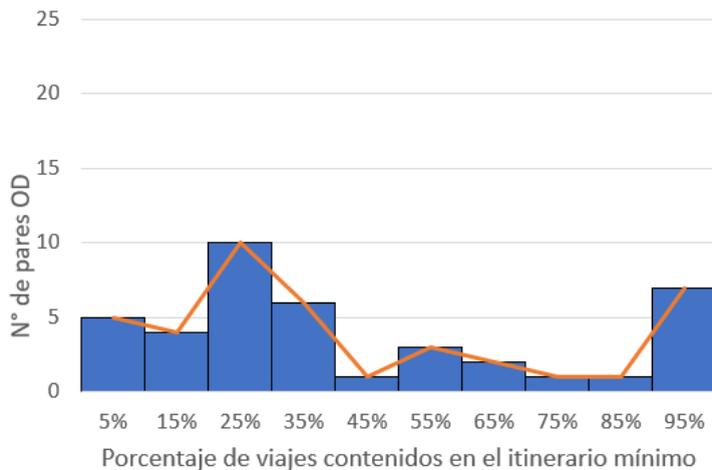
Penalización en trasbordo y tiempo de espera



77% de los viajes se realiza en ruta mínima

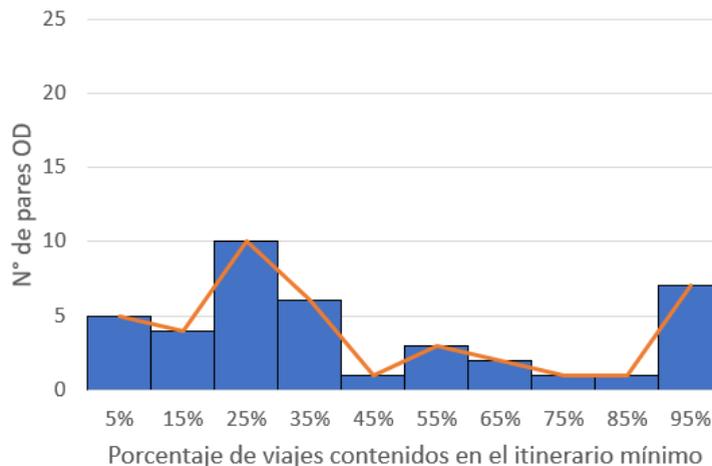
Análisis de estrategias

Penalización en trasbordo



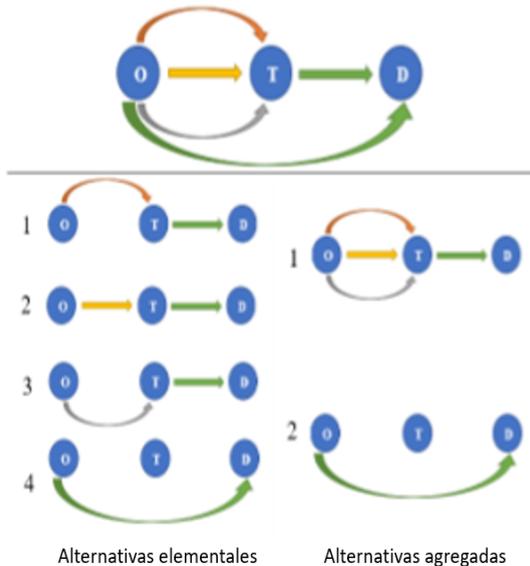
41% de los viajes se realiza en itinerario mínimo

Penalización en trasbordo y tiempo de espera



42% de los viajes ser realiza en itinerario mínimo

Modelo Path size Logit



$$V_j = \sum_m \beta_m TI_m + \sum_c \beta_c TR_m + \beta_{CR} CR_j + \beta_{PS} PS_j$$

$$CR_s = \frac{\sum_{e \in l} Ocupacion_e}{\sum_{e \in l} Capacidad_e}$$

$$PS_j = \sum_{a \in j} \frac{l_a}{L_j} \ln \frac{1}{M_{an}}$$

Source: Bovy et al. (2009)

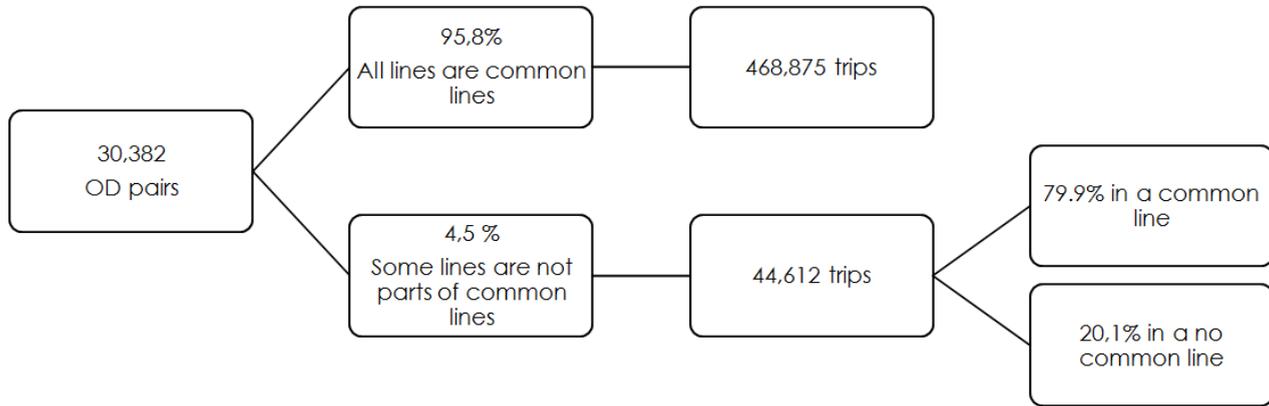
Modelo Path Size Logit

Descripción	Alternativas elementales		Alternativas agregadas	
	Coefficiente estimado	Tasa de sustitución	Coefficiente estimado	Tasa de sustitución
$\beta_{BusTravelTime}$	-0.067 (-47.0)	1	-0.067 (-41.2)	1
$\beta_{MetroTravelTime}$	-0.068 (-35.9)	1.01	-0.073 (-34.8)	1.09
$\beta_{InitialWaitingTime}$	-0.099 (-83.4)	1.48	-0.133 (-56.5)	1.99
$\beta_{TransferWaitingTime}$	-0.083 (-24.5)	1.24	-0.077 (-11.1)	1.15
$\beta_{TransferWalkingTime}$	-0.320 (-46.4)	4.78	-0.099 (-10.3)	1.48
$\beta_{TransferBusBus}$	-1.070 (-20.6)	15.97	-0.771 (-13.1)	11.51
$\beta_{TransferBusMetro}$	-0.84 (-21.8)	12.54	-0.771 (-17.6)	11.51
$\beta_{TransferMetroBus}$	-0.92 (-6.7)	13.73	-0.995 (-7.0)	14.85
$\beta_{BusCrowding}$	-0.85 (-18.8)	12.69	-0.858 (-9.6)	12.8
$\beta_{PathSizeTerm}$	-0.073 (-2.6)		0.030 (0.5)	
	Obsv: 154,335		Obsv: 154,335	
	$\mathcal{L}(\hat{\beta}) = -161000.6$		$\mathcal{L}(\hat{\beta}) = -35978$	
	$\bar{\rho}^2 = 0.046$		$\bar{\rho}^2 = 0.083$	

Conclusiones

- Datos de tarjetas inteligentes permiten estudiar el comportamiento de pasajeros de transporte público
- La generación de alternativas de ruta requiere agregar penalización tanto por trasbordo como tiempo de espera
- Pasajeros utilizan principalmente estrategias de rutas agregadas
- Tiempo de viaje en metro y tiempo de espera es más desagradable cuando se modela con alternativas agregadas

Common line analysis



Are people taking the first line or service that arrive to the stop?

Common line analysis

$$q_p = \sum_{r=1}^{R_p} \sum_{l=1}^{L_r} \frac{\pi_{lrp}}{\sum_{r=1}^{R_p} L_r}$$

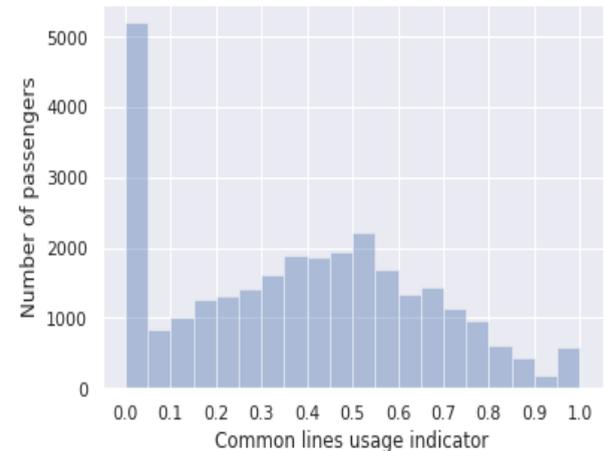
$$\pi_{lrp} = \frac{|ET_{lrp} - OT_{lrp}|}{\max(ET_{lrp}, OT_{lrp})}$$

$$ET_{lrp} = \frac{f_l}{\sum_{i \in CL} f_i} * \sum_{i=1}^{L_r} OT_{irp}$$

$$q_p \in [0, 1]$$

ET_{lrp} : expected trips of passenger p in line r at OD pair r

OT_{lrp} : observed trips of passenger p in line r at OD pair r



Latent class model

$$P_p(l) = P(l|CL) * P_p(CL) + P(l|\overline{CL}) * P_p(\overline{CL})$$

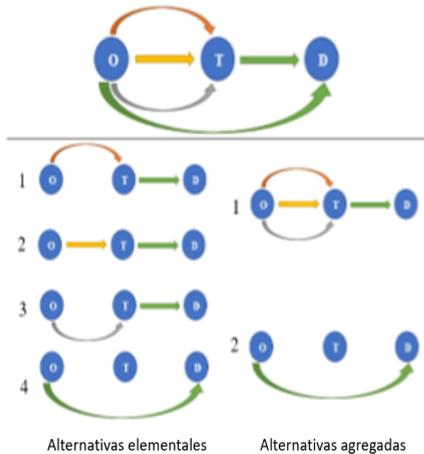
$$P_p(\overline{CL}) = \frac{\exp(\beta_{\overline{CL}} + \beta_{q_p} * q_p)}{1 + \exp(\beta_{\overline{CL}} + \beta_{q_p} * q_p)}$$

$$q_p = \sum_{r=1}^{R_p} \sum_{l=1}^{L_r} \frac{\pi_{lrp}}{\sum_{r=1}^{R_p} L_r}$$

$$\pi_{lrp} = \frac{|ET_{lrp} - OT_{lrp}|}{\max(ET_{lrp}, OT_{lrp})}$$

Latent class model

$$P_p(l) = P(l|CL) * P_p(CL) + P(l|\overline{CL}) * P_p(\overline{CL})$$



$$P(1|\overline{CL}) = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2) + \exp(V_3) + \exp(V_4)}$$

$$P(1|CL) = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} * \frac{f_{orange}}{f_{orange} + f_{yellow} + f_{gray}}$$

Latent class model

Description	Class 1: Elemental alternatives		Class 2: Aggregate alternatives	
	Estimated coefficient	Rates of substitution	Estimated coefficient	Rates of substitution
$\beta_{BusTravelTime}$	-0.090 (-41.2)	1	-0.058 (-19.4)	1
$\beta_{MetroTravelTime}$	-0.085 (-29.5)	0.944	-0.068 (-17.8)	1.172
$\beta_{InitialWaitingTime}$	-0.095 (-53.3)	1.056	-0.095 (-22.5)	1.638
$\beta_{TransferWaitingTime}$	-0.067 (-12.9)	0.74	-0.093 (-7.5)	1.60
$\beta_{TransferWalkingTime}$	-0.484 (-37.9)	5.38	-0.037 (-2.2)	0.64
$\beta_{TransferBusBus}$	-0.850 (-10.7)	9.44	-0.994 (-8.5)	17.14
$\beta_{TransferBusMetro}$	-0.964 (-14.6)	10.71	-0.682 (-9.3)	11.76
$\beta_{TransferMetroBus}$	-2.005 (-6.7)	22.28	-0.479 (-1.9)	8.26
$\beta_{BusCrowding}$	-1.410 (-20.5)	15.67	-0.299 (-2)	5.16
$\beta_{PathSizeTerm}$	-0.374 (-8.0)		0.323 (3.4)	
β_{CL}		-3.329 (-11.2)		
β_{qp}		10.571 (-12.14)		
N° Observations:		154,335		
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$		-160311.9		
$\hat{\rho}^2$		0.029		