



# Modelo combinado de elección de destino y ruta para un sistema de préstamo de bicicletas

Autores: Felipe González, Carlos Melo Riquelme, Louis de Grange.

Para presentación en ceremonia incorporación como socio a SOCHITRAN  
Santiago, 12 de Septiembre de 2014.

---

# CONTENIDO

- Introducción
  - Sistema de Préstamo de Bicicletas Públicas
  - Encuesta
  - Modelo
  - Conclusiones
-

# Introducción

- En Santiago, en las últimas dos décadas, y según los datos oficiales, el ciclismo urbano tiene una participación de los viajes que va desde el **1.6%** en el año 1991, al **1.9 %** en el 2001, llegando a un **2.7%** in 2006.
  - Este número es bajo, considerando las condiciones favorables que existen para su uso: pendientes bajas, buen clima a lo largo del año, y la cantidad de viajes con longitud menor a 5 km (aproximadamente **41%** de los viajes en transporte privado).
  - Los mayores problemas para masificar este medio de transporte tienen que ver con el escaso desarrollo de una cultura que promueva su uso y la pobre infraestructura existente.
  - La ciudad presenta importantes deficiencias en el diseño de ciclovías, los estacionamientos son escasos y la conexión entre las ciclovías existentes es deficiente.
-

# Introducción

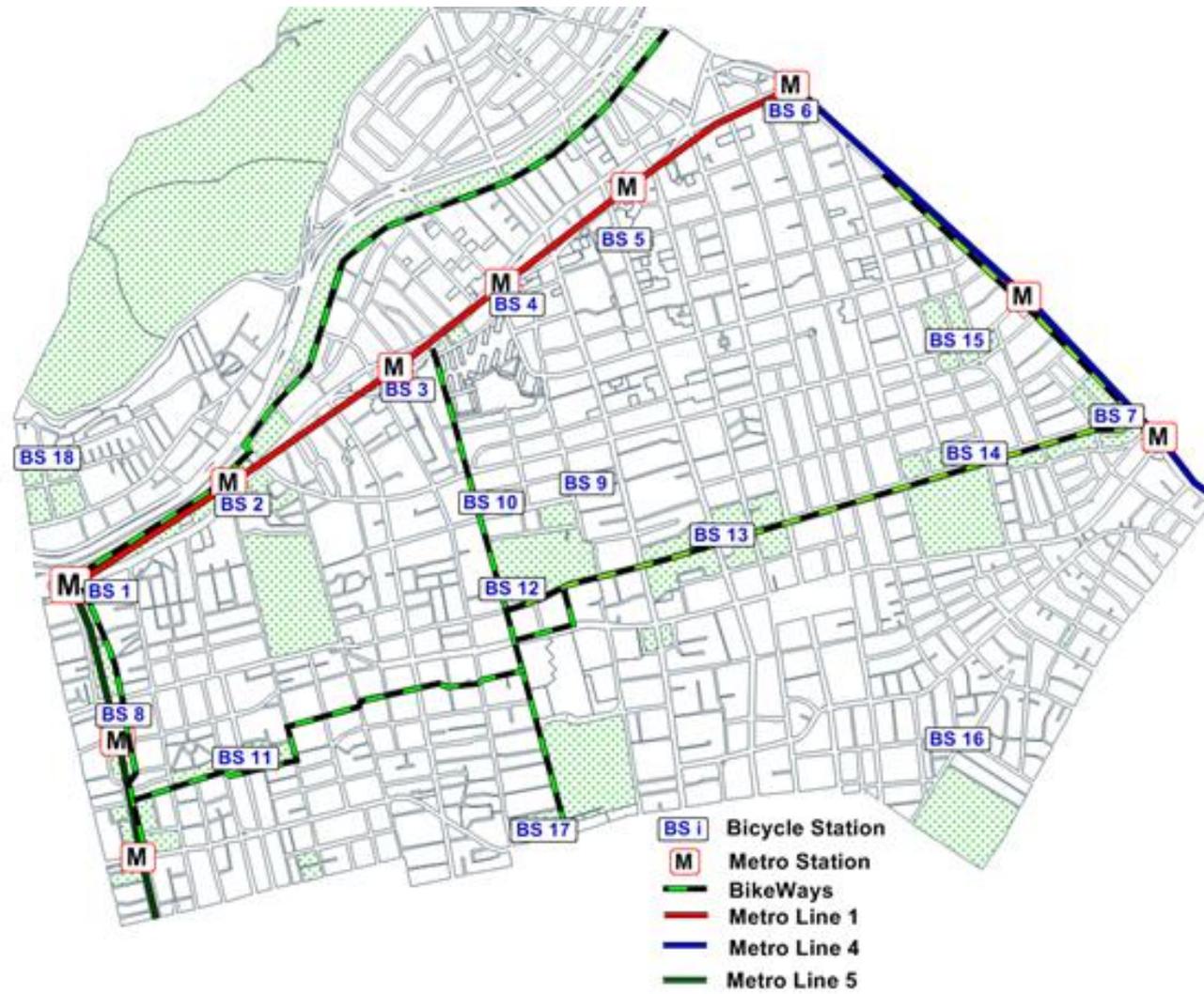
- La Municipalidad de Providencia ha sido pionera en promover el uso de la bicicleta, desarrollando un plan para dotar a la comuna de 45 kilómetros de ciclovías. E
- En términos de infraestructura, la comuna cuenta con aproximadamente 12 km. de ciclovías de estándar medio-alto, con buena señalización.
- Sin embargo, todavía carece de una conexión adecuada entre todos los puntos generadores y atractores de viajes..
- En general, la mayoría de las ciclovías están en calles sin transporte público, con bajo flujo peatonal y algunas de ellas comienzan o terminan cerca de estaciones de metro.



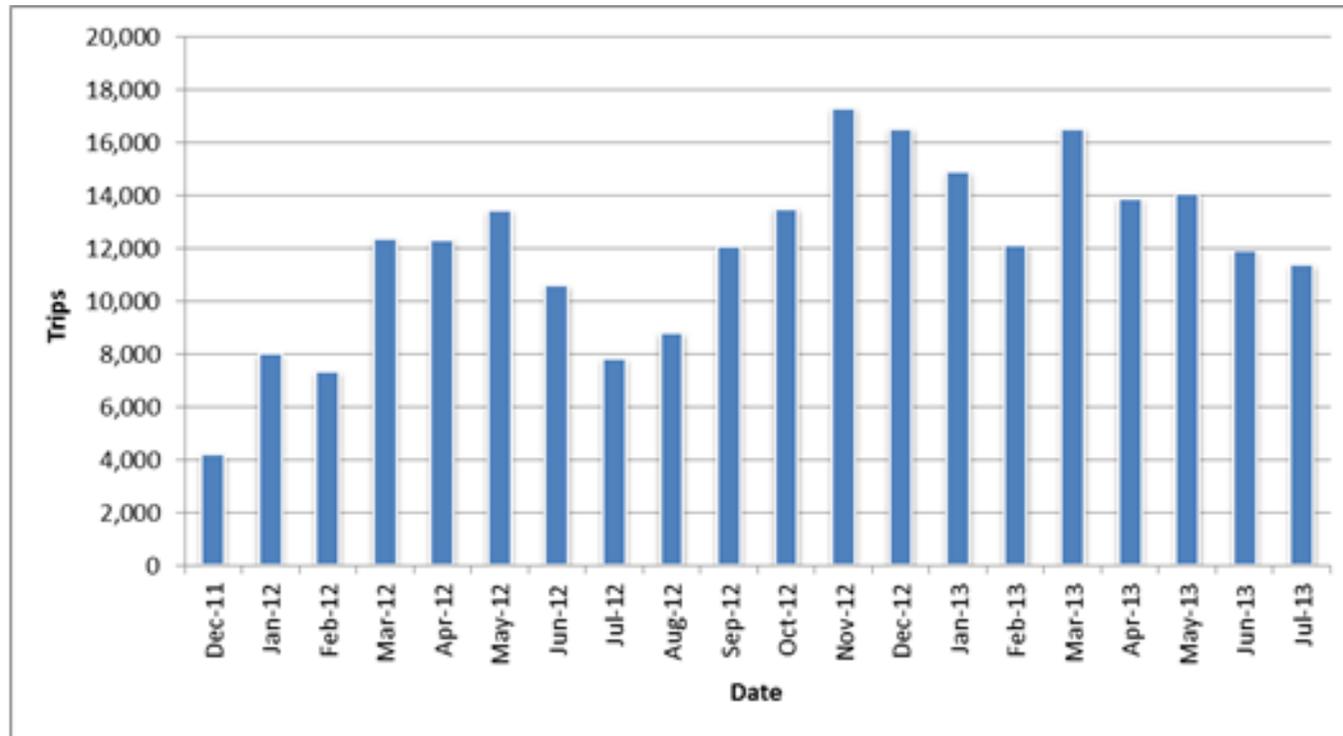
# Sistema de Préstamo de Bicicletas

- Providencia fue el primer Municipio de Santiago en establecer un sistema de préstamo de bicicletas. Actualmente, otras 14 comunas tienen implementado o están en vías de implementar este tipo de sistemas similar.
  - El sistema actual tiene un total de 150 bicicletas en 18 estaciones, ubicadas estratégicamente alrededor de la comuna. Las estaciones están situadas en lugares de alta concurrencia, cerca de estaciones de metro, plazas, deportivos o centros culturales.
  - El servicio funciona de lunes a sábado de 07:30 a 20:30 y los costos para el municipio son aproximadamente US\$ 40.000 por mes.
  - En cuanto a la demanda del sistema, hasta julio de 2013, los viajes se han incrementado considerablemente. En los meses de junio y julio la demanda de bicicletas disminuye, debido a que son los meses de pleno invierno.
-

# Sistema de Préstamo de Bicicletas



# Sistema de Préstamo de Bicicletas



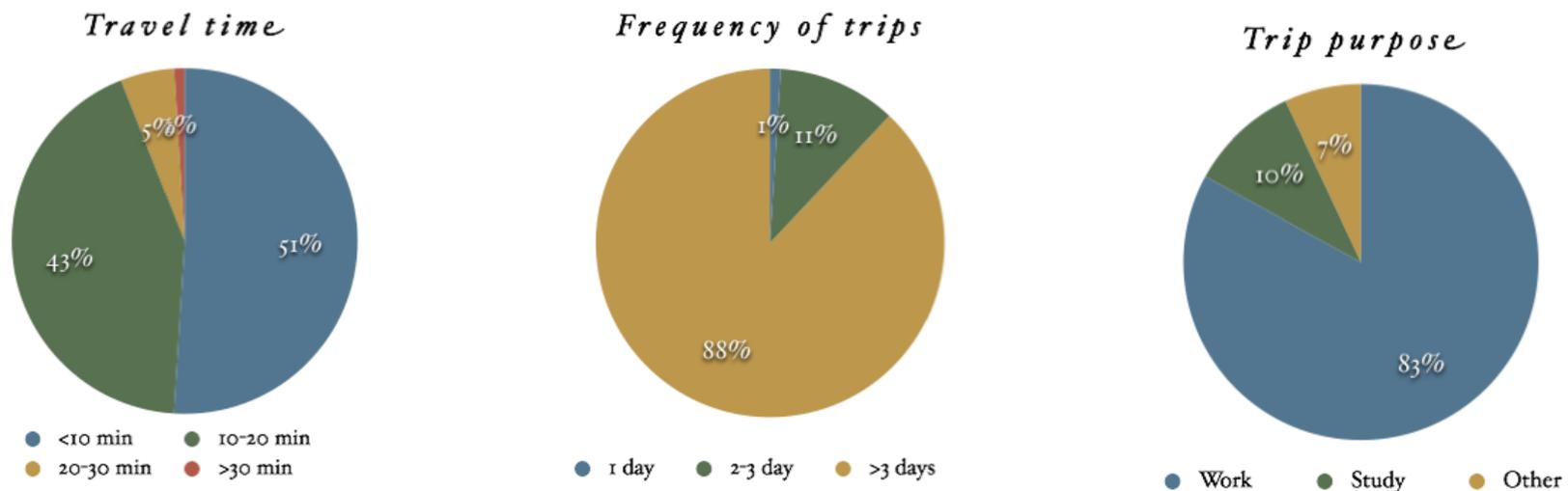
- El número de viaje mensuales creció en forma consistente, pasando de 4.200 en diciembre de 2011 a más de 17.000 un año más tarde. (Definiendo viaje como el recorrido realizado entre un retiro y una entrega sucesiva de la bicicleta)

# Encuesta

- Para caracterizar la demanda del uso de la bicicleta, un total de 307 encuestas se realizaron a usuarios del sistema, en las estaciones, durante los períodos de punta mañana y punta tarde (8:00 a 10:00 y 17:30 a 19:30 respectivamente)., en los meses de noviembre de 2012 y marzo de 2013.
  - Principales características de los usuarios del sistema:
    - 63% de los encuestados eran hombres, la mayoría entre los 20 y 39 años..
    - 57% de los encuestados vivían en Providencia y el resto proviene de las comunas vecinas, lo que se explica por la concentración de oficinas, negocios, universidades y otros servicios en la comuna.
-

# Encuesta

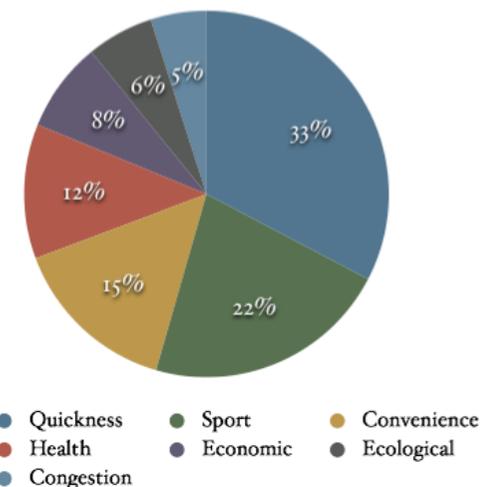
- El 51% de los usuarios utiliza la bicicleta por menos de 10 minutos, y el 43% entre 11 and 20 minutos.
- 88% afirma utilizar el sistema más de 3 veces a la semana y el 83% usa la bicicleta como parte de su viaje al trabajo.
- La distancia promedio de los viajes es de 1.9 km y para el 51% de éstos su origen o destino fue una estación cercana a una parada de Metro..



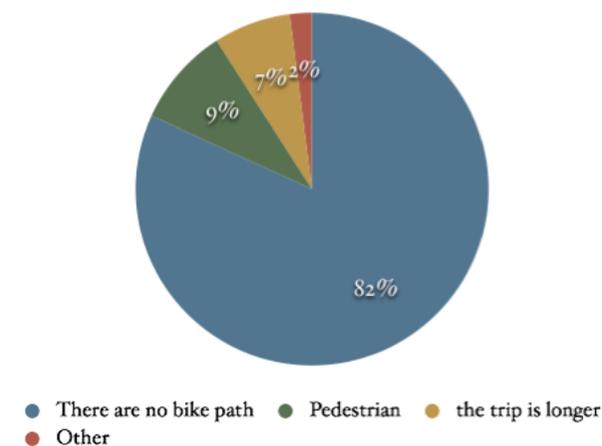
# Encuesta

- La mayoría de los usuarios prefieren la bicicleta por su rapidez y por los beneficios de salud que les reporta.
- **95%** de los usuarios no consideran la tarifa como un factor relevante para usar el servicio.
- **71%** de los encuestados dijeron que ellos utilizan las ciclovías. Entre los que no lo hicieron, la mayoría dio como razón la falta ellas en su ruta.
- **55%** de los usuarios es dueño de un auto, sin embargo, solo el **4%** usaría el auto para hacer el mismo viaje si no existiera el sistema, las alternativas preferidas serían la caminata (**49%**), metro (**21%**) e el bus (**17%**).

*Preference for bike*

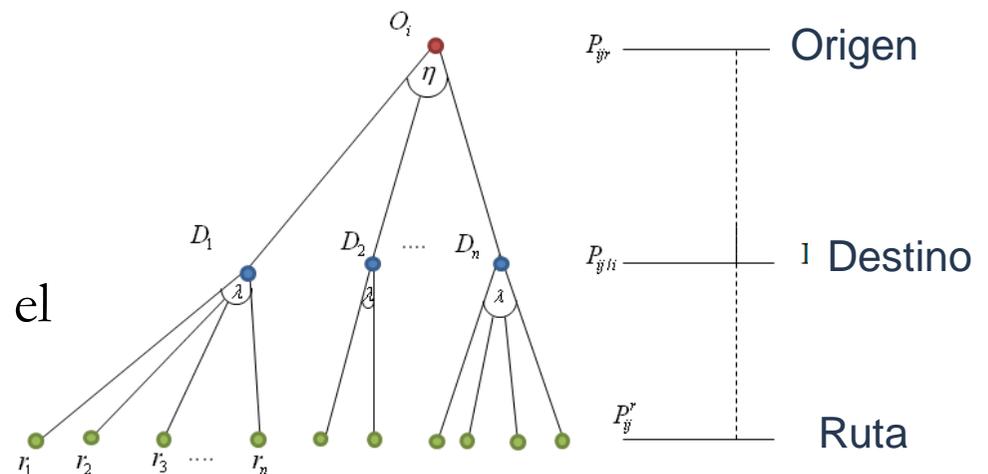


*Why not use bike paths*



# Modelo

- Estimamos un modelo conjunto de elección de destino y ruta, con una estructura interna jerárquica (ver figura).
- Los parámetros  $\eta$  y  $\lambda$  pueden interpretarse como factores de escala en el modelo de utilidad aleatoria.
- En este caso, la probabilidad de escoger la ruta  $r$  en el par Origen-Destino  $ij$  está dada por la siguiente expresión:  $P_{ijr} = P_{ij/i} P_{ij}^r$
- Donde  $P_{ij/i}$  es la probabilidad de escoger un destino dado el origen (modelo elección de destino), mientras que  $P_{ij}^r$  corresponde a la probabilidad de escoger la ruta  $r$  en el par OD (modelo elección ruta).



# Modelo

- Para el modelo de elección de ruta, usamos un modelo logit multinomial, incorporando un atributo adicional en la función de utilidad, llamado Path Size Logit (Ben-Akiva and Ramming, 1998), que intenta corregir la existencia de rutas y, por lo tanto, correlacionadas.

$$P_{r/ij} = \frac{e^{V_{ij}^r + \psi \cdot \ln PS_{ij}^r}}{\sum_{r \in R^{ij}} e^{V_{ij}^r + \psi \cdot \ln PS_{ij}^r}} \quad V_{ij}^r = \sum_k \beta^k x_{ij}^{kr} \quad PS_{ij}^r = \sum_{a \in r} \left( \frac{l_a}{L_r} \cdot \frac{1}{\sum_{r \in R^{ij}} \delta_{ar}} \right)$$

- Donde  $V_{ij}^r$  corresponde a una combinación lineal de las variables explicativas para cada ruta y sus correspondientes parámetros.
  - En  $PS_{ij}^r$   $l_a$  es la longitud del arco  $a$ ,  $L_r$  es la longitud de la ruta  $r$ , y  $\delta_{ar}$  es igual a 1 si el arco  $a$  pertenece a alguna ruta  $r$  del par  $ij$  y 0 en otro caso.
-

# Modelo

- La probabilidad de escoger el destino es:

$$P_{ij/i} = \frac{e^{\phi L_{ij} + Z_j}}{\sum_j e^{\phi L_{ij} + Z_j}} \quad L_{ij} = -\ln \sum_{r \in R^{ij}} e^{V_{ij}^r + \psi \cdot \ln PS_{ij}^r}, \phi = \eta / \lambda \quad Z_j = \sum_m \alpha_m x_j^m$$

- $Z_j$  corresponde a una combinación lineal de las variables explicativas para cada destino y sus correspondientes parámetros.
- Luego:

$$P_{ij}^r = \frac{e^{\phi L_{ij} + Z_j}}{\sum_j e^{\phi L_{ij} + Z_j}} \frac{e^{V_{ij}^r + \psi \cdot \ln PS_{ij}^r}}{\sum_{r \in R^{ij}} e^{V_{ij}^r + \psi \cdot \ln PS_{ij}^r}}$$

# Modelo

- El modelo final considera las siguientes variables:
  - ***DIST***: largo de la ruta. (Ruta)
  - ***CICLO***: % de la ruta con ciclovías. (Ruta)
  - ***SEX CICLO***: resultado de multiplicar variable dummy igual a 1 si el usuario es hombre y la variable *CICLO*. (Ruta)
  - ***ARB***: Variable dummy, vale 1 si la ruta tiene al menos 1 árbol cada 50 metros en el 60% de la ruta. (Ruta)
  - ***TPUB***: % de la ruta con transporte público. (Ruta)
  - ***METRO***: 1 si hay estación de metro a menos 700 m. destino. (Destino)
  - ***OFIC***: área espacio oficinas en torno a destino. (Destino)
  - ***SERV***: área espacio servicios en torno a destino. (Destino)

Parámetro	Coefficiente	Test-t
$\beta_{DIST}$	-1.67	-2.34
$\beta_{CICLO}$	2.92	2.41
$\beta_{SEXCICLO}$	-1.55	-1.74
$\beta_{ARB}$	1.08	1.97
$\beta_{TPUB}$	-0.82	-2.16
$\psi_{PS}$	2.39	2.47
$\alpha_{METRO}$	0.14	4.31
$\alpha_{OFIC}$	0.62	7.97
$\alpha_{SERV}$	0.15	5.78
$\phi$	0.19	6.08
$\bar{\rho}^2$	0.324	
Log-Likelihood	-109.01	

# Conclusiones

- La elección del destino fue determinada en gran medida por las características socioeconómicas de la zona donde se encuentra ubicada la estación de bicicletas y por la presencia de una parada de metro en las inmediaciones, lo que revela la existencia de una marcada sinergia entre los dos modos de transporte. Este es un hallazgo particularmente valioso que sugiere que la integración de los dos modos debe ser una consideración de diseño importante en los sistemas de préstamo de bicicletas.
- Otro resultado interesante en relación a los atributos de las rutases que los ciclistas prefieren fuertemente las que incluyen segmentos de ciclovías. Lo anterior podría dar luces de que los usuarios preferirían las ciclovías porque las consideran más seguras, conclusión confirmada por el resultado adicional de que los ciclistas tienden a evitar rutas con transporte público.

# Conclusiones

- También se encontró que los usuarios prefieren rutas arboladas, probablemente debido a su valor paisajístico, aunque también es posible que la presencia de los árboles crean una sensación de mayor seguridad. Por último, los resultados del modelo confirman una diferencia de género significativa en que los hombres tienden a usar ciclovías menos que las mujeres.



# Gracias

---