

Transporte público masivo en ciudades medias de Chile

Dos enfoques para explorar su potencial

Seminario DITL, 12/5/2020

Presentación - definiciones

Transporte público masivo: BRT, LRT, Metro

Criterio: BRT Standard (ITDP, 2019). > 3 km de corredor con carriles segregados.



Presentación - definiciones



Ciudades medias: Áreas urbanas entre 50.000 y 1.000.000 (CEPAL, 1998)

En Chile (INE, 2019) son 24:

La Serena – Coquimbo (399.450)
Antofagasta (348.517)
Iquique – Alto Hospicio (293.068)
Arica (202.131)
Calama (157.575)
Copiapó (150.804)
Ovalle (75.864)

Rancagua – Machalí (290.029)
Quillota – La Calera (149.159)
Gran San Antonio (118.668)
Melipilla (72.212)
Los Andes – Calle Larga (69.041)
San Felipe (64.543)
San Fernando (58.367)

Temuco – Padre Las Casas (277.529)
Talca (236.347)
Puerto Montt – Alerce (212.003)
Chillán (164.270)
Valdivia (150.848)
Osorno (147.666)
Los Ángeles (143.023)
Curicó (125.275)
Punta Arenas (123.403)
Linares (73.602)

“Todos”
quieren
transporte
masivo...¿pero
se justifica?

Tranvía La Serena-Coquimbo: Un proyecto público para descongestionar ambas ciudades

(Plataforma Urbana, 2/7/2014)

Municipio de Antofagasta anunció proyecto de tren urbano

(24 horas.cl, 26/4/2018)

Transporte público eléctrico podría conectar a Rancagua con Machalí

(El Rancagüno, 30/1/2020)

Un tren "ligero" para la Región del Maule podría ser una realidad en 2020

(Economía y Negocios, 19/9/2017)

Impulsan nuevamente proyecto para construir teleférico que una Iquique y Alto Hospicio

(Consejo Políticas de Infraestructura, 12/6/2018)

Estos proyectos requieren de **fondos públicos** -> análisis Sectra (idea, prefactibilidad, factibilidad) “de todas las propuestas que llegan”

¿Población mínima para justificar TM?

Algunos autores brindan recomendaciones básicas sobre población mínima de las ciudades para tener BRT (250.000 – 1.000.000) o LRT (300.000 – 3.000.000)

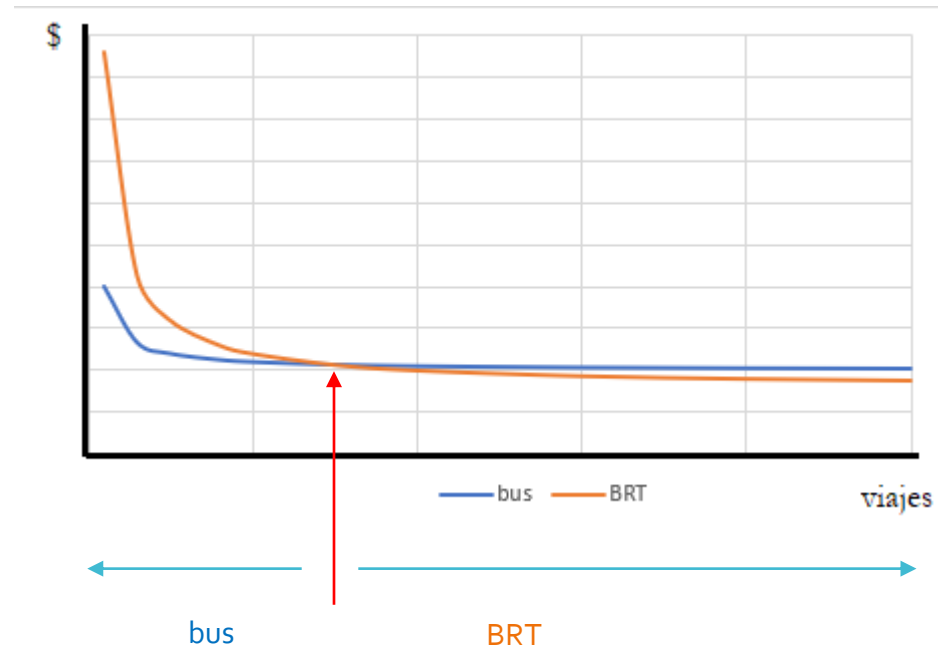
Algunas áreas metropolitanas < 400.000 tienen **BRT**, **LRT**, **Metro**:



Con este criterio básico, algunas propuestas pueden ser razonables. Pero no sólo la población es relevante...

¿Viajes mínimos para justificar TM?

El transporte público masivo es más costoso (+ costos de inversión) pero más rápido (- costos de usuarios). Al aumentar la cantidad de viajes, disminuye el impacto de la infraestructura en los costos totales.



No sólo la población de las ciudades influye en la cantidad de viajes en un sistema (o corredor) de transporte público...

Determinantes del uso de TP

La literatura identifica variables que se correlacionan en forma **positiva**, **negativa** o **variable** con el uso (o la disponibilidad de infraestructura) del transporte público:

Población a), d)

Motorización b), f)

Red vial e), h)

PIB per capita* c)

Topografía a)

Forma urbana lineal d)

Densidad de población d)

Predominancia del CBD d)

Precio del combustible e)

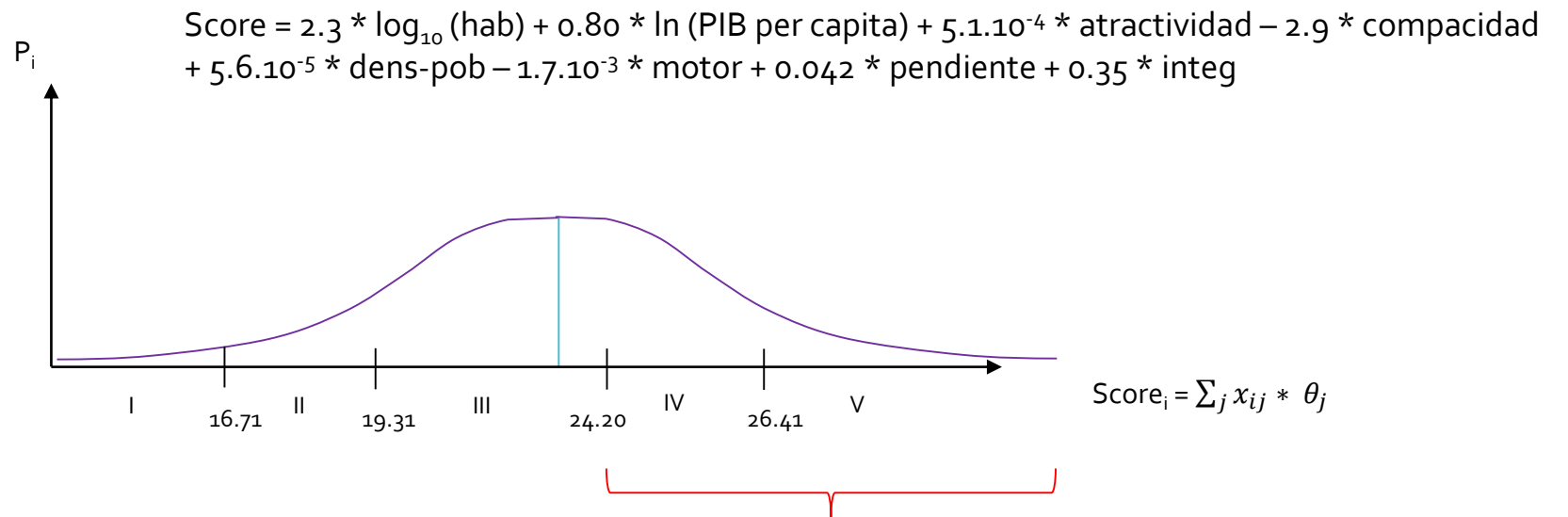
Costos de estacionamiento a)

Integración tarifaria (y modal) i)

¿Cómo influyen estas variables en los modos de TP existentes en las ciudades?

Clasificación de sistemas de TP - modelo

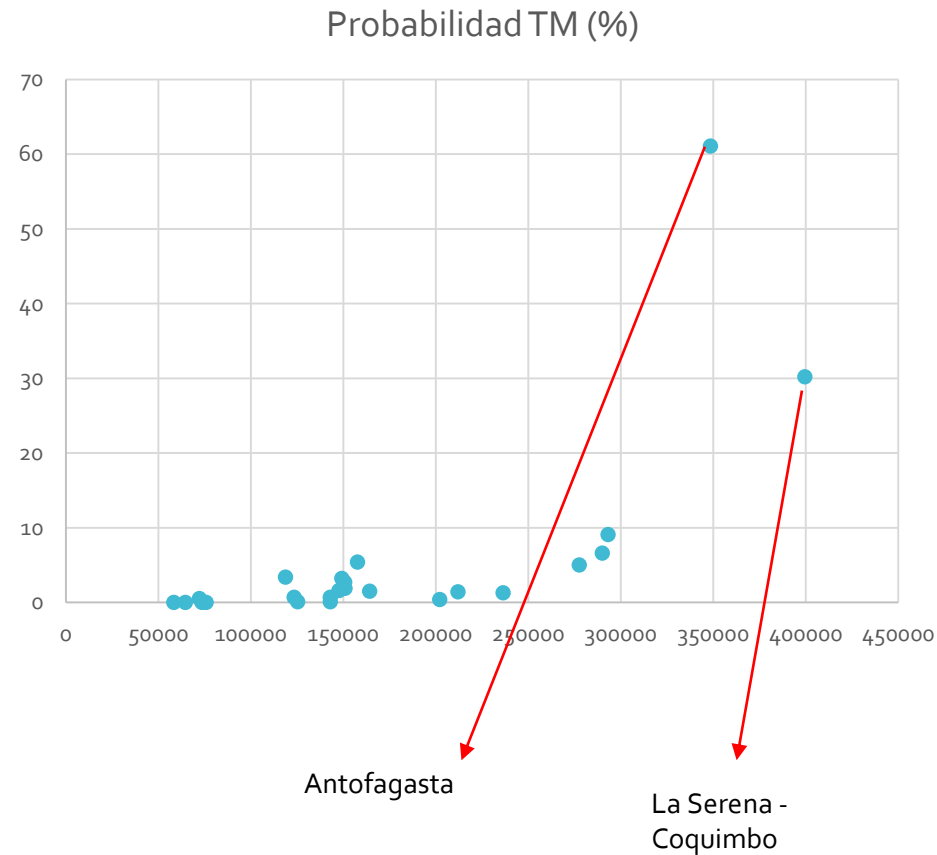
Modelo Probit ordinal (*Basnak, Giesen y Muñoz, 2020?*) para clasificar 400 ciudades de América en 5 clases



Los “determinantes del uso de TP” son significativos al clasificar los sistemas existentes de las ciudades.

¿Qué probabilidades asigna el modelo a las ciudades de la muestra para las clases de transporte masivo?

Clasificación de sistemas de TP - aplicación



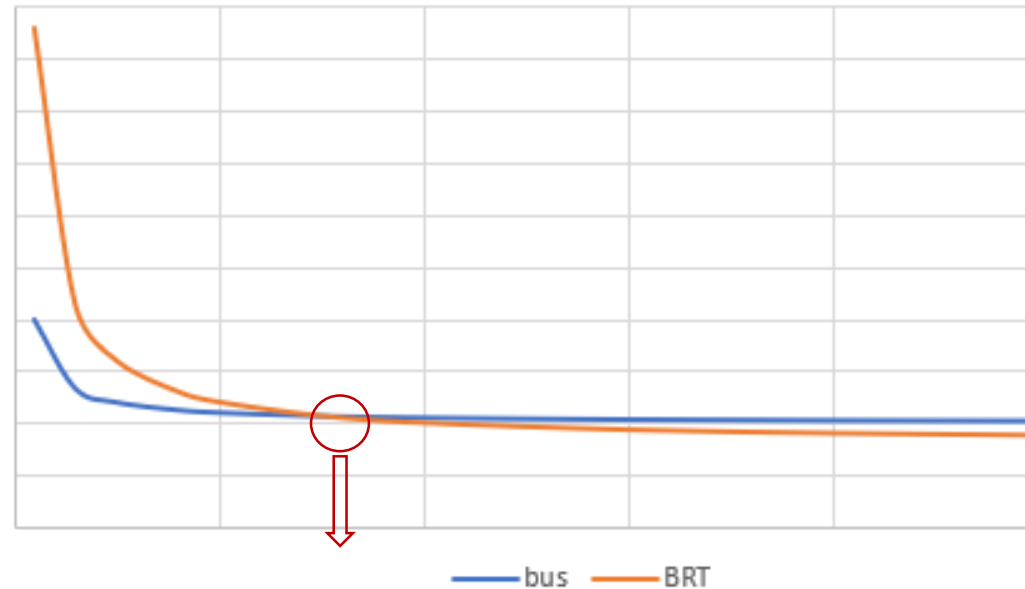
El modelo asocia a sólo 2 ciudades de la muestra (Antofagasta, La Serena – Coquimbo) probabilidades > 10% a clases correspondientes a transporte masivo.

Ambas ciudades son de **forma lineal**

El gráfico población – probabilidad TM muestra la importancia de variables adicionales a la población en los modos de TP existentes

Optimización – metodología

Objetivo: encontrar la cantidad mínima de viajes que justifica BRT para corredores en ambas ciudades (y compararlos con los viajes estimados)

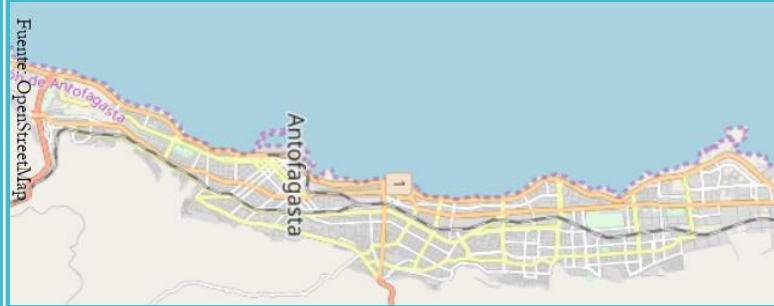


En cada punto, se minimizan los costos generalizados totales (construcción, operación, usuarios) variando flota (total y en hora valle), distancia entre paraderos y tamaño de vehículos.

Modelo de optimización con parámetros discretos, resolución exacta

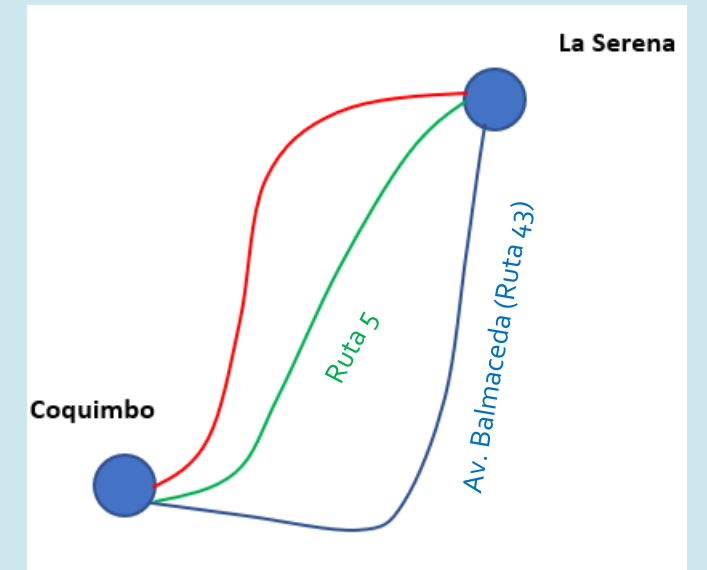
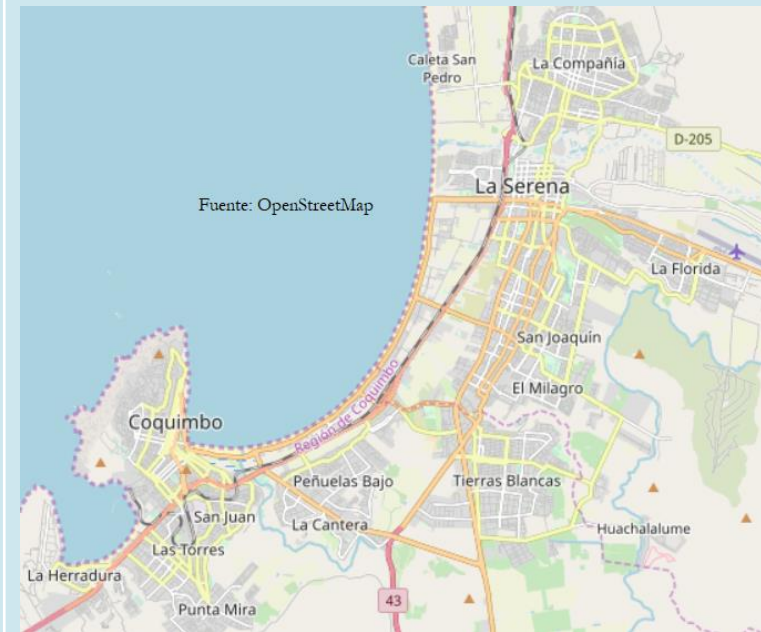
Optimización – casos de estudio

Antofagasta

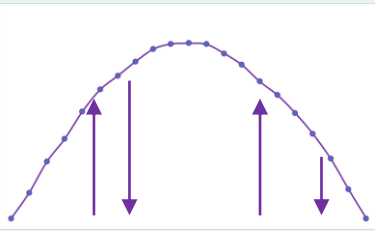
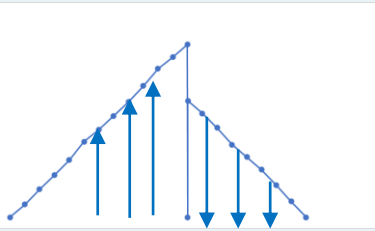
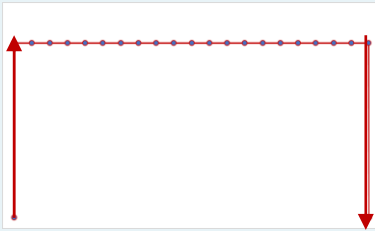


Av. Argentina – Iquique – Pedro Aguirre Cerda

La Serena - Coquimbo



Optimización – perfiles de carga

Patrón de demanda	Probabilidad uniforme	Todos hacia/desde el centro	Servicio expreso
Perfil de carga	Parabólico	Triangular asimétrico (L/l)	Uniforme
			
Demanda máxima (% total)	50%	$L/(L+l)$	100%
Distancia media de viaje	$L/3$	$(L^2+l^2)/2(L+l)$	L
Direccionalidad hora punta	60%	80%	60%
Corredores			
Antofagasta – Av. Argentina/Iquique/PAC	x	x	
La Serena – Ruta 5			x
La Serena – Ruta 43	x		

Optimización – fórmulas y parámetros

$$C = C_{co} + T \cdot C_{op} + N \cdot C_{us}$$

Variables a optimizar: B (Bv), d, T

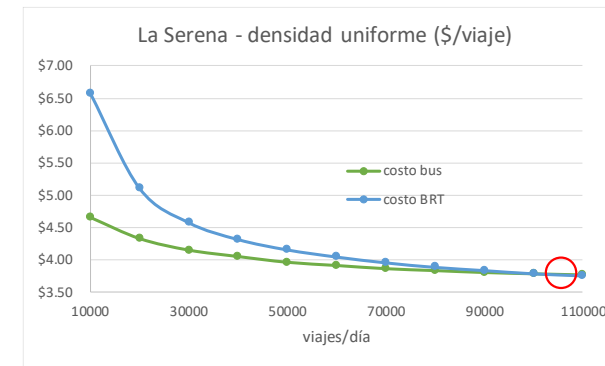
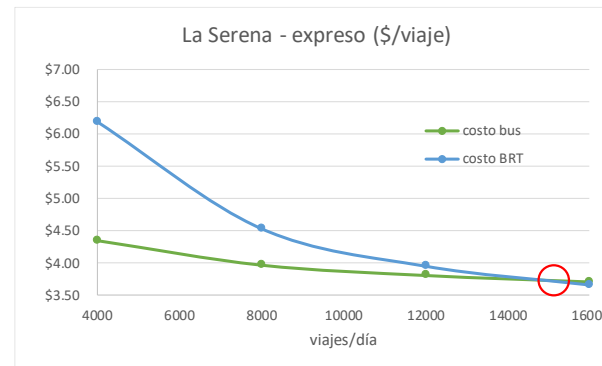
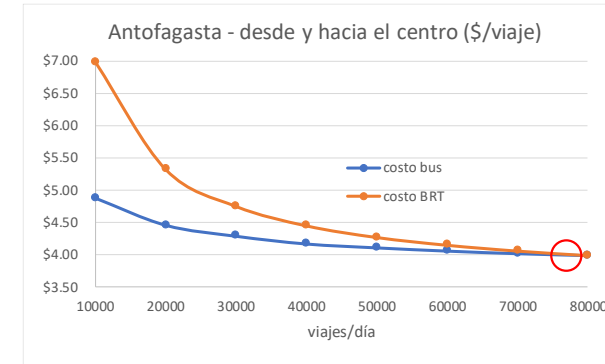
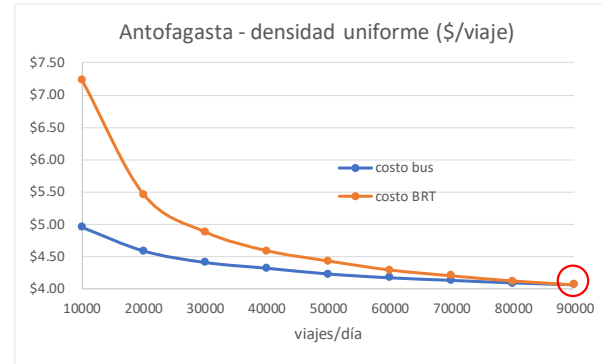
$$C_{co} = L \cdot (C_{cor} + C_{exp}) + \frac{L}{d} \cdot (C_{par})$$

$$C_{op} = B \cdot (C_f + t \cdot C_d)$$

$$C_{us} = N \cdot (C_{acc}(d) + C_{esp}(B, d, T) + C_{via}(B, d, T))$$

Parámetros de operación y construcción		Parámetros de usuarios	
Velocidad base bus (km/h)	25 – 40	Valor Subjetivo del tiempo de viaje (USD)	5
Velocidad base BRT (km/h)	30 – 50	Multiplicador VST acceso (<i>fuentes: Raveau et al., 2017</i>)	2.2
Costo de operación fijo (USD/h)	15 – 20	Multiplicador VST espera (<i>fuentes: Raveau et al., 2017</i>)	1.5
Costo de operación variable (USD/h)	15 – 25	Velocidad de caminata plano/ondulado (km/h)	3 / 5
Capacidad vehículo	40 – 150	Factor de hora punta (%)	10
Detención (s/pasajero) BRT/bus	2/3	Factor de hora valle (%)	5
Detención (s/parada)	10	Direccionalidad de demanda (%)	60 – 80
Costo bus (USD * 10 ³)	50 – 200	Distancia de acceso lateral (m)	200
Costo de construcción (USD * 10 ⁶ /km)	5		
Costo de expropiación (USD * 10 ⁶ /km)	1 - 5		
Costo de paradero bus (USD * 10 ³)	2		
Costo de paradero BRT (USD * 10 ³)	20		
Vida útil buses / infraestructura (años)	10 / 20		
Valor de reposición buses (%)	20		

Optimización – resultados



- La cantidad mínima de viajes / día que justificaría la construcción de corredores BRT es:
- 90.000 / 79.000 viajes diarios, Antofagasta (densidad uniforme / viajes desde-hacia el centro)
 - 15.000 viajes por día, La Serena-Coquimbo (servicio expreso, Ruta 5)
 - 107.000 viajes por día, La Serena-Coquimbo (densidad uniforme, Ruta 43)

Optimización – comparación con viajes OD

Ciudad / corredor	Viajes diarios en transporte público (en bus) – EOD 2010	% superficie a distancia caminable del corredor (buffer 500 m)	Viajes diarios estimados con origen/destino en el corredor (EOD 2010)	Viajes mínimos que justifican BRT (modelos optimización)
La Serena – Coquimbo (Av. Balmaceda)	276.984 (157.784)	15.0%	23.605 – 41.438	107.000
La Serena – Coquimbo (Ruta 5)	-	-	1.209 (viajes totales par OD)	15.000
Antofagasta (Av. Argentina/Iquique/PAC)	282.895 (201.126)	32.1%	64.509 - 90.736	79.000 (perfil triangular) – 90.000 (prob. uniforme)

Considerando los viajes estimados según la EOD 2010 (conservador), el corredor en Antofagasta ya podría haber alcanzado el umbral de conveniencia del BRT.

La Serena-Coquimbo todavía no alcanza dicho límite, aunque para 40.000 viajes/día en Av. Balmaceda la diferencia de costos entre bus y BRT es de 7% aprox.

La propuesta de tranvía en La Serena (que ocupa este corredor) cuesta 28 MM US\$/km, lo que aumentaría significativamente el umbral.

Conclusiones y futuros pasos

- * Los modelos permiten establecer un primer criterio para evaluar potencial (idea / prefactibilidad) de corredores BRT. No reemplazan a la evaluación social.
 - * Solo dos ciudades intermedias de Chile (Antofagasta / La Serena-Coquimbo) tienen características aptas para proyectos de transporte masivo (BRT) a corto plazo.
 - * En Antofagasta probablemente ya se superó el nivel mínimo de viajes que justifica la inversión.
 - * Otras ciudades medias también pueden invertir en infraestructura para mejorar su transporte público (pistas solo bus, corredores segregados cortos, flota, etc.)
-

A futuro, puede incorporarse

- * Valoración de atributos adicionales (comodidad, seguridad, higiene) en minutos equivalentes de viaje (encuesta PD en curso)
- * Incorporar modelos de tranvía / LRT
- * Análisis de sensibilidad para variables principales (costo de construcción, velocidades)
- * Aplicación de modelos secuenciales (VIVALDI) para estimaciones más precisas de demanda y perfiles de carga.

Transporte público masivo en ciudades medias de Chile

Dos enfoques para explorar su potencial

Seminario DITL, 12/5/2020