

- Originalmente (PTUS, 2002): 6500 buses
- Comienzo TS (2007): 4800 buses.
- A poco andar: 5500 buses.
- ¿Nuevamente 6500?
- Metro aparentemente sobrepasado (pero 6 pax/m² por diseño).
- ¿5 años de planificación?
- Se habla de errores de implementación y diseño;
- ¿Cuáles serían los de diseño?

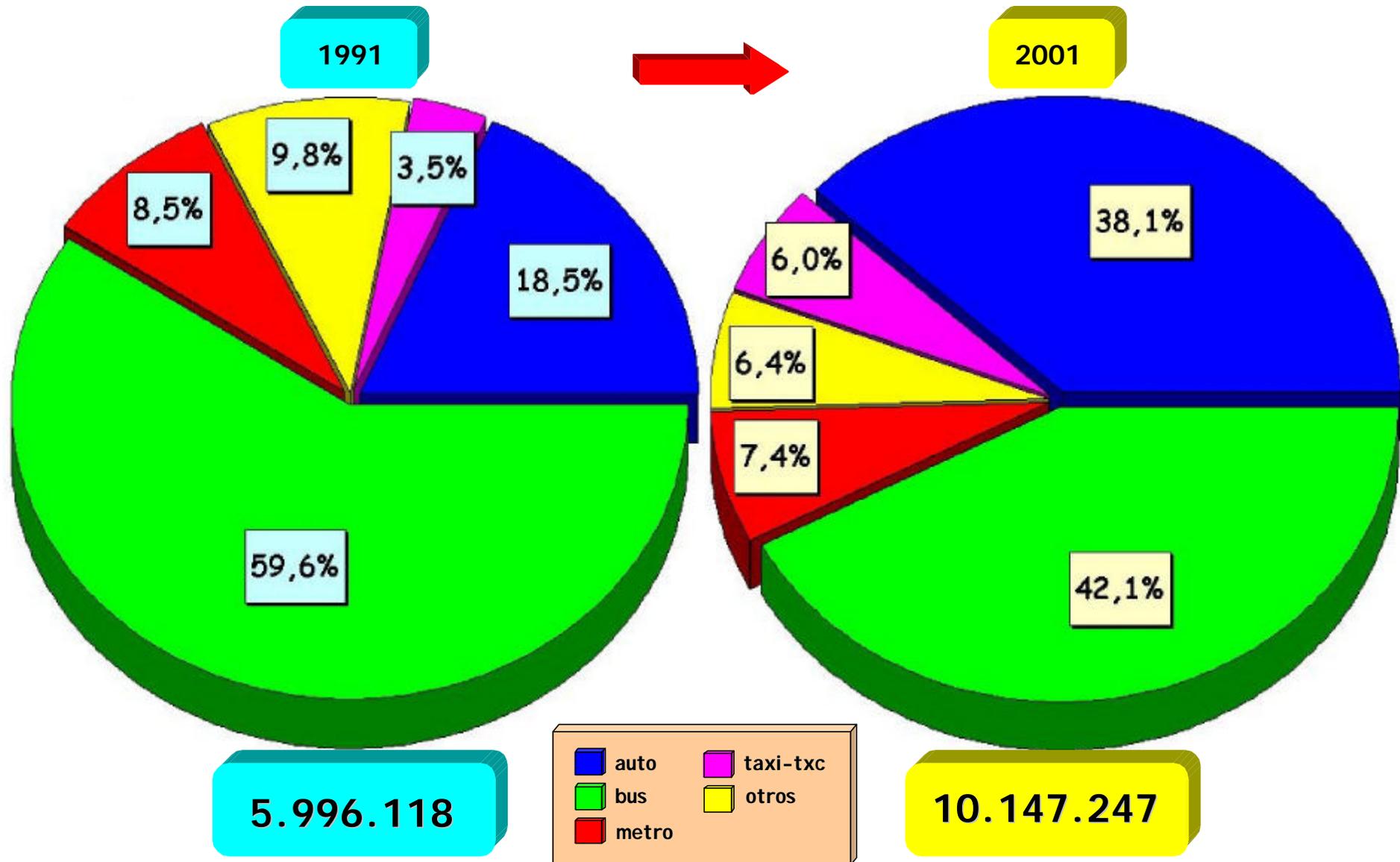
Los problemas de diseño en Transantiago

Sergio Jara Díaz

Ingeniería de Transporte, Universidad de Chile

1. Antecedentes
2. Los planes
3. Frecuencia y estructura de líneas (en breve)
4. Impactos de la restricción oculta
5. No quiero decir “te lo dije...”
6. Conclusiones

Evolución de la partición modal de viajes motorizados (día laboral)



Tiempos de viaje promedio (2001)

- Todo el día
 - Transporte Público : 44,1 min
 - Transporte Privado : 25,1 min
- Punta mañana
 - Transporte Público : 44,7 min
 - Transporte Privado : 26,3 min
- Punta tarde
 - Transporte Público : 50,7 min
 - Transporte Privado : 29,0 min
- Fuera de punta
 - Transporte Público : 37,7 min
 - Transporte Privado : 23,3 min

1. Antecedentes



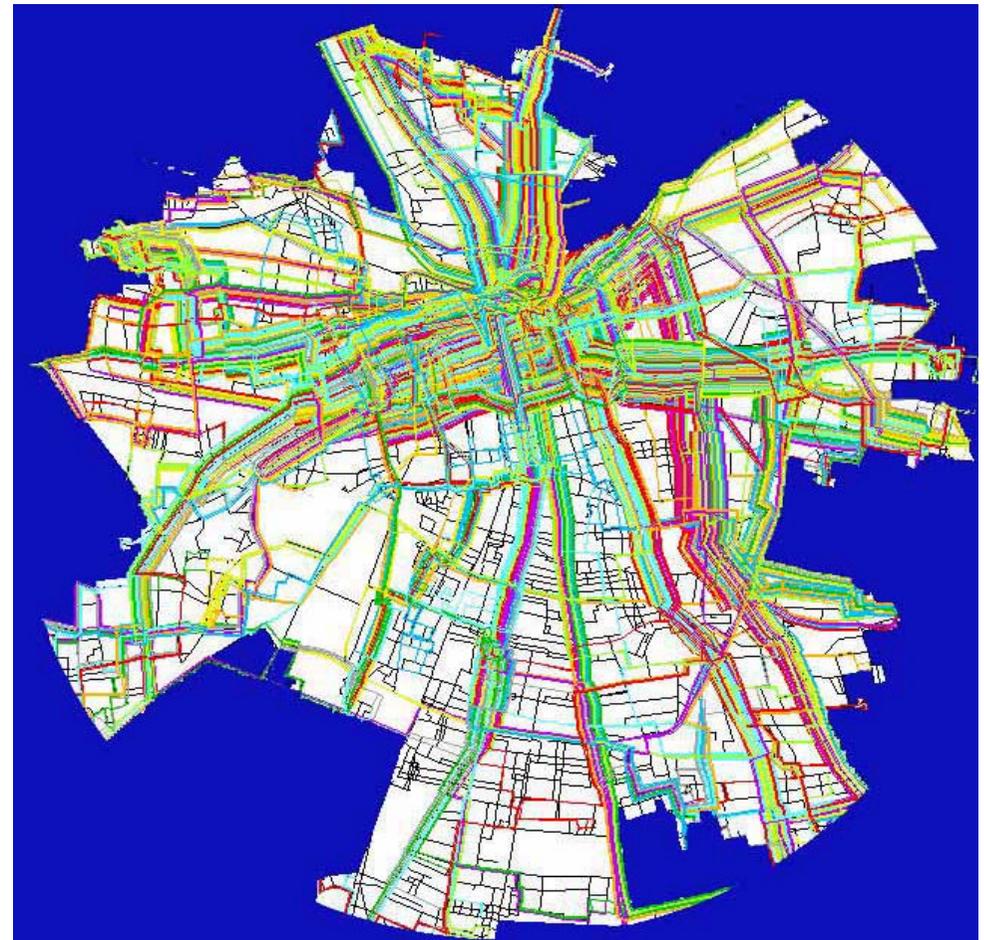
Espacio necesario para transportar la misma cantidad de personas, en auto, bicicleta y bus. Münster, Alemania, Agosto de 2001

Objetivo declarado:

“El incentivo del transporte público como medio de transporte principal de la ciudad y la racionalización al uso del automóvil”
(MOPTT, 2000)

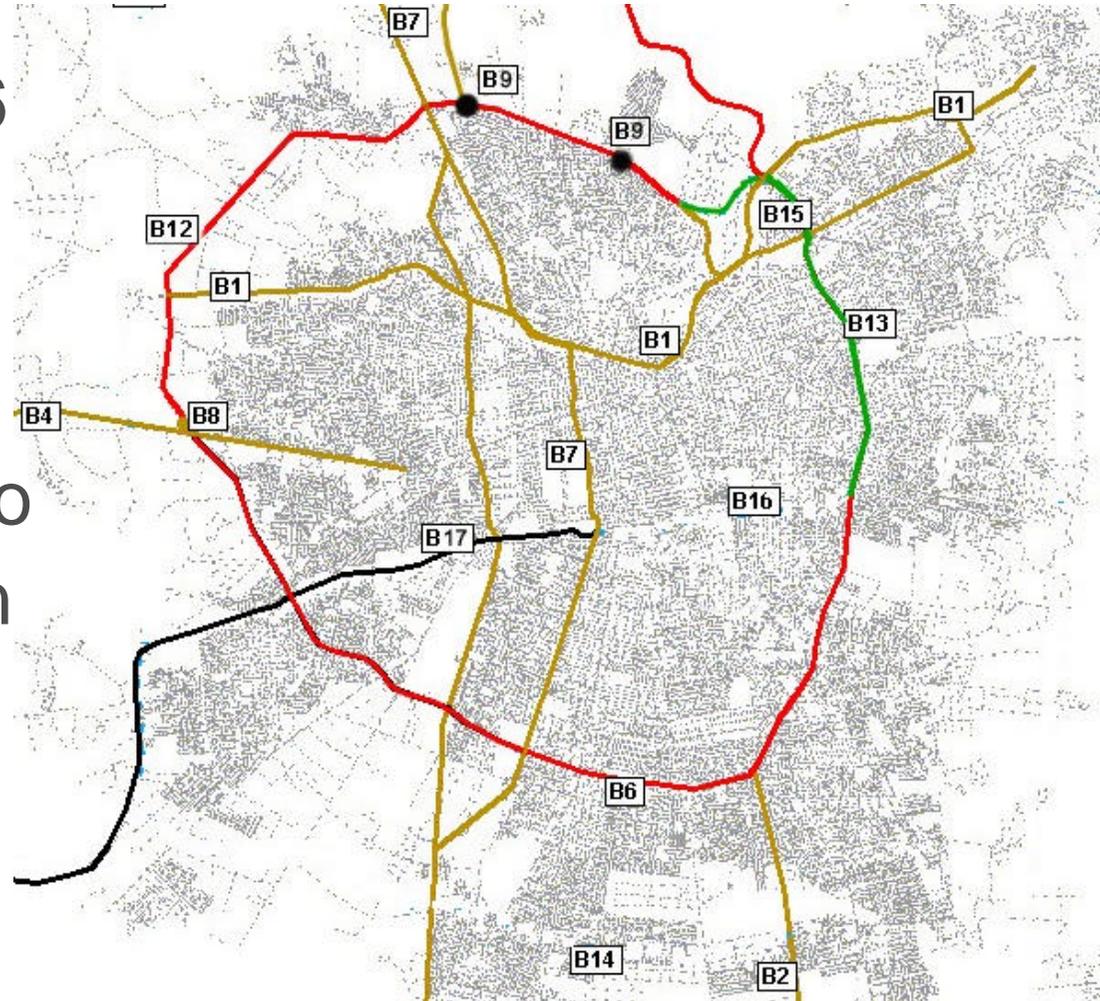
Sistema de Buses pre-existente

- 380 líneas
- Amplia cobertura espacial y alta frecuencia
- 0,1 trasbordos/viaje
- 8.000 buses propiedad privada
- 4.000 “compañías”
- Oferta no competitiva
- Sin subsidio operacional
- Mantención deficiente
- Competencia “en la calle” por los pasajeros: inseguro
- 82 km vías exclusivas en punta mañana



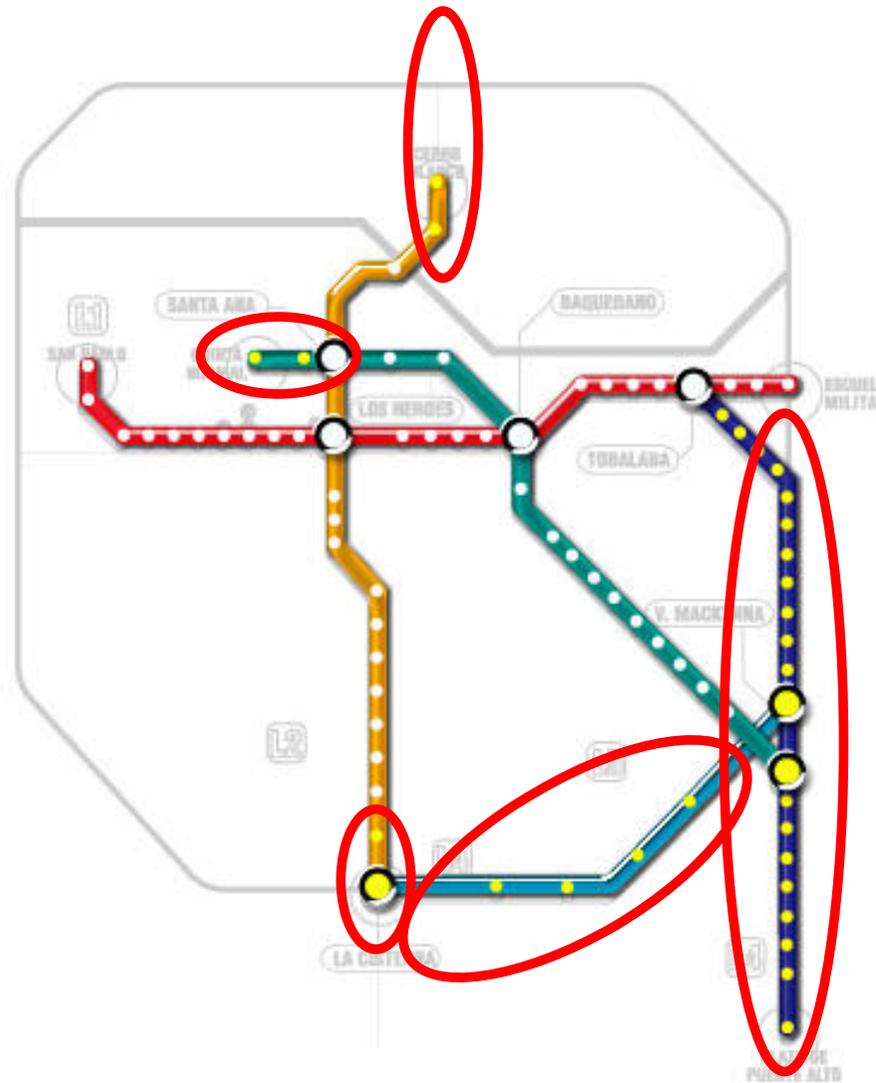
Plan: Autopistas Urbanas

- 150 km 2001-2006
- US\$ 2 000 mill inversión
- JCL: “complemento a la modernización de la LCS”



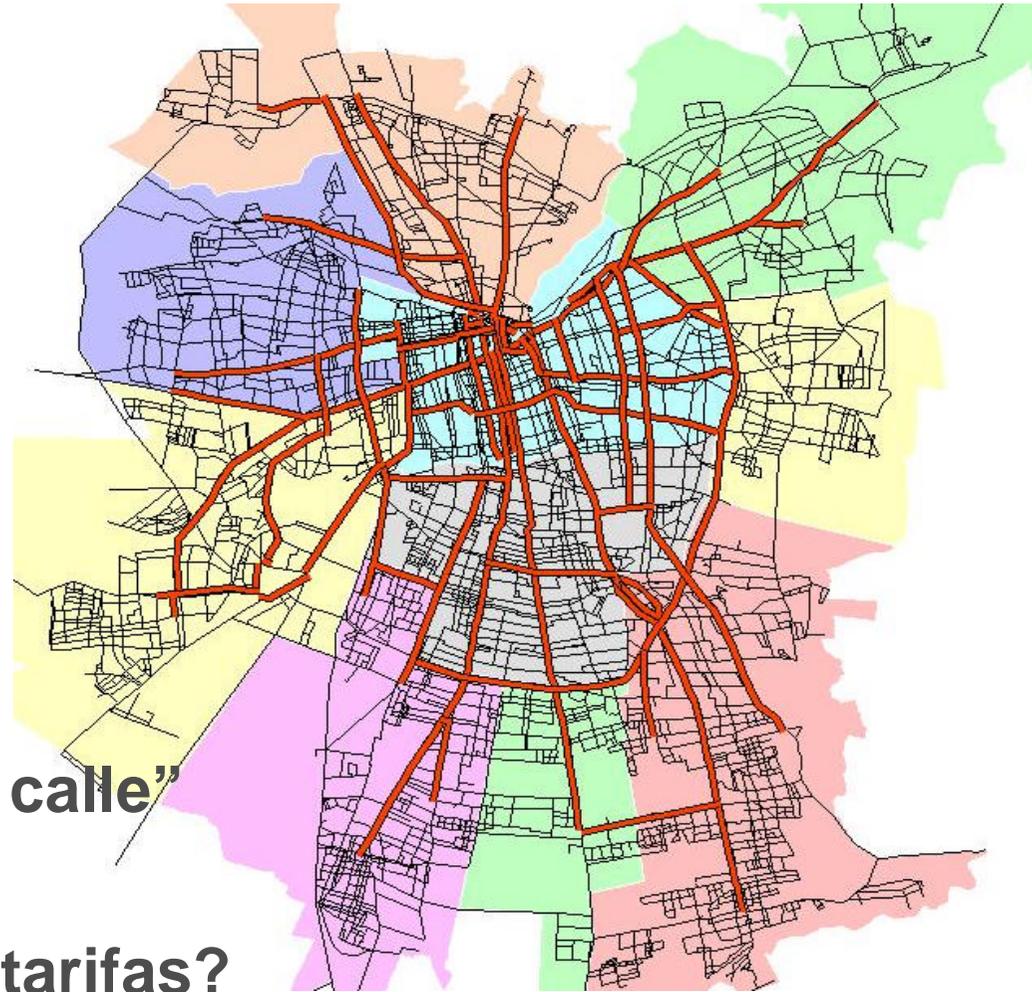
Plan: Red de Metro

- 2001: 38 km
- 2006: 80 km
- Inversión:
MMUS\$ 1.700



Plan: Sistema de Buses propuesto

- Líneas troncales y alimentadoras
- 150 líneas
- Tarifa integrada
- 0,6 trasbordos/viaje
- 6.500 buses
- 15 compañías
- Licitación
- NO competencia “en la calle” por los pasajeros
- Presupuesto? Nivel de tarifas?



“Recomendamos **Revista Universitaria (UC), 2002**

- mirar el desarrollo vial y el del transporte público como un solo problema;
- que todos los estudios, y en particular, los de concesiones de carreteras urbanas, sean públicos y transparentes. Eso generaría una discusión ilustrada a través de las revistas especializadas;
- considerar las fundamentales diferencias en las características operativas y económicas del transporte público y el transporte privado en áreas urbanas, calculando tanto los cobros por congestión como los subsidios en transporte público que conducen al uso óptimo de los recursos;
- apoyar decididamente la modernización del transporte público de superficie, esperando que la consideración de los puntos anteriores lo hagan un esfuerzo útil; y
- asignar los recursos técnicos, humanos y financieros para hacer del PTUS un plan efectivo.

Espero sinceramente que la contradicción entre la política revelada de enfrentar la congestión con más vialidad y la política declarada de mantener la proporción de usuarios de transporte público, se resuelva a favor de esta última. Para ello es necesario considerar los puntos aquí resumidos. Lo peor que podría pasar es terminar con grandes inversiones en ambos sectores sin solucionar la congestión.”

3. Diseño de un Sistema de Transporte Público (en breve)

- a. Estructura de líneas
- b. Frecuencias (f)
- c. Tamaño de vehículos (K)

Elemento central: minimizar costo de operadores + costo de usuarios (tiempo)



$$VRC(f, K) = COp(f, K) + P_e t_e(f, K)Y + P_v t_v(f, K)Y + P_a t_a Y$$

$f^*(Y)$ depende del objetivo y de la formulación

3.1 Frecuencia óptima en el caso de una línea y un período.

Mohring (1972, 1976)

$$f^* = \sqrt{\frac{P_e}{2t_c} Y}$$

Regla de la raíz cuadrada

Jansson (1980, 1984)

$$t_c = t \frac{Y}{f} + T \quad t_v = t_c l/L$$

$$c = C_0 + c_1 K$$

$$f^* = \sqrt{\frac{Y}{C_0 T} \left(\frac{1}{2} P_e + t Y \frac{l}{L} [c_1 + P_v] \right)}$$

Regla de la raíz cuadrada modificada

Jara-Díaz y Gschwender (2003a)

f y K considerando hacinamiento

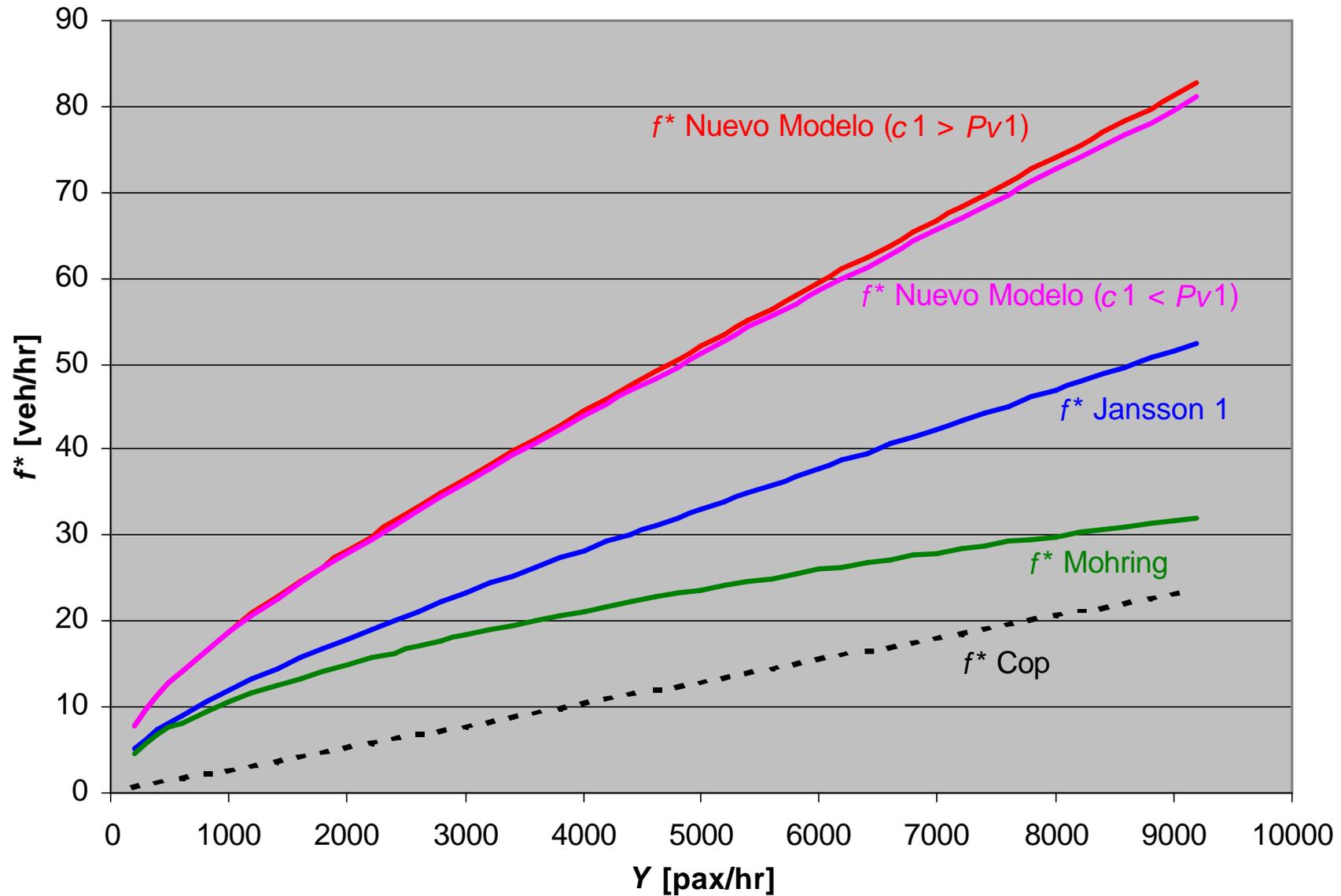
$$\text{Min}_{f,K} VRC_T = f t_c(f) c(K) + P_e \frac{1}{2f} Y + P_v(\phi) \frac{l}{L} t_c(f) Y$$

$$\text{S.a } k(f) \leq K \quad \text{con} \quad \mathbf{f} = k(f) / K \quad \text{y} \quad P_v(\phi) = P_{v0} + P_{v1}\phi$$

$$c_1 < P_{v1} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f^* = \sqrt{\frac{Y}{c_0 T} \left[\frac{P_e}{2} + tY \frac{l}{L} (2\sqrt{c_1 P_{v1}} + P_{v0}) \right]} \\ K^* = \sqrt{\frac{P_{v1}}{c_1}} k(f^*) \end{array} \right.$$

$$c_1 \geq P_{v1} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f^* = \sqrt{\frac{Y}{c_0 T} \left[\frac{P_e}{2} + tY \frac{l}{L} (c_1 + P_{v1} + P_{v0}) \right]} \\ K^* = k(f^*) \end{array} \right.$$

Frecuencia óptima



El problema no es nuevo...

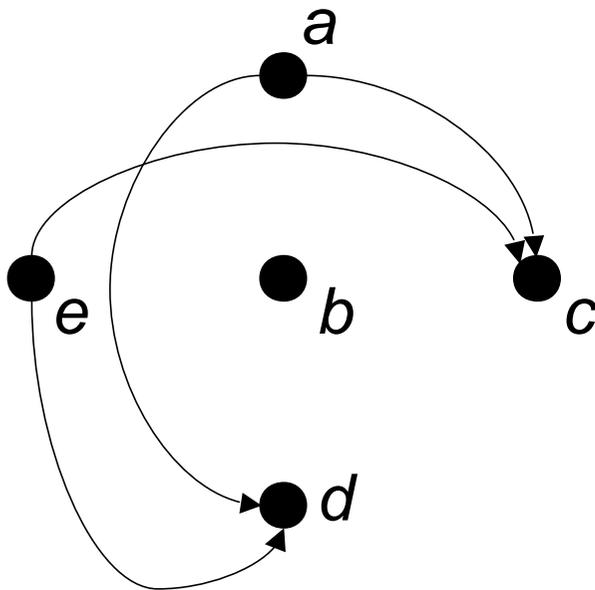
5.8 CONTRASTS WITH 'CURRENT' PRACTICE

From the preceding account it is clear that a bus service designed to minimize the total social costs will look radically different from most existing bus-service designs, principally in that, (a) the frequency of services will be higher in general, and in off-peak periods in particular, and (b) buses will be much smaller in general and on thin routes in particular.

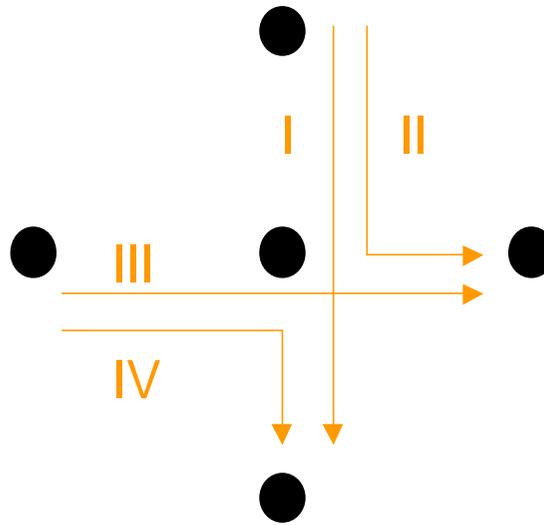
Jan Owen Jansson, 1984
Transport System Optimization and Pricing

3.2 Estructuras de Líneas en Transporte Público: ¿Directas o corredores? (Jara-Díaz y Gschwender, 2003b)

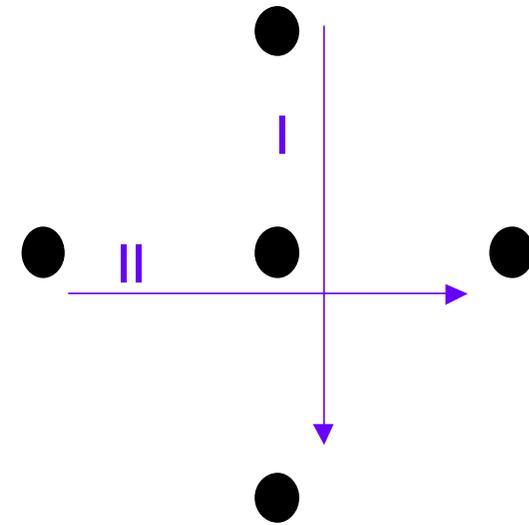
**Red y Pares
Origen-Destino
a Unir**



**Líneas
Directas**
(sin transbordos)

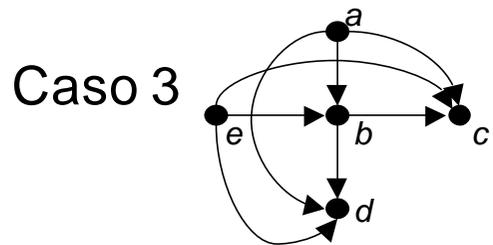
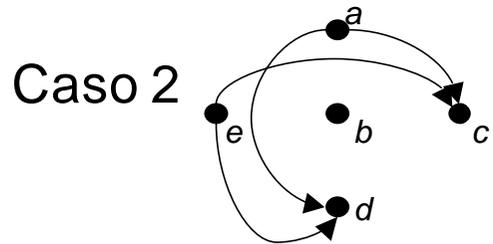
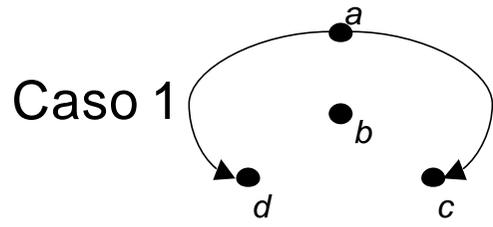


**Líneas en
Corredores**
(menos veh-Km)

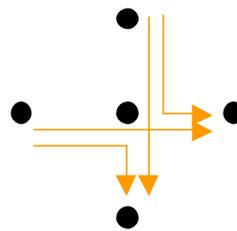
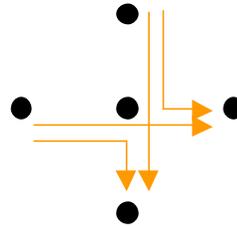
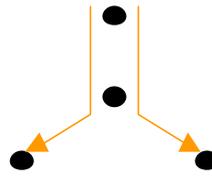


Casos simples

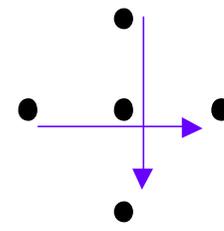
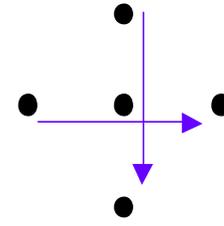
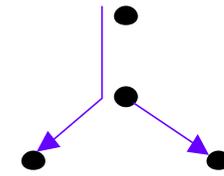
Red y Flujos O-D



Estructura de Líneas directas



Estructura de Corredores



Resultados

1. El mínimo costo total de cada estructura en cada caso puede ser descrita paramétricamente por la misma ecuación.

$$C_l = 2ctY \frac{1}{\delta^l} + 2\sqrt{cTY \left(P_w \frac{\phi_w^l}{\delta^l} + P_v \frac{\phi_v^l}{\delta^l} tY \right)} + P_v \psi TY$$

despreciable
constante

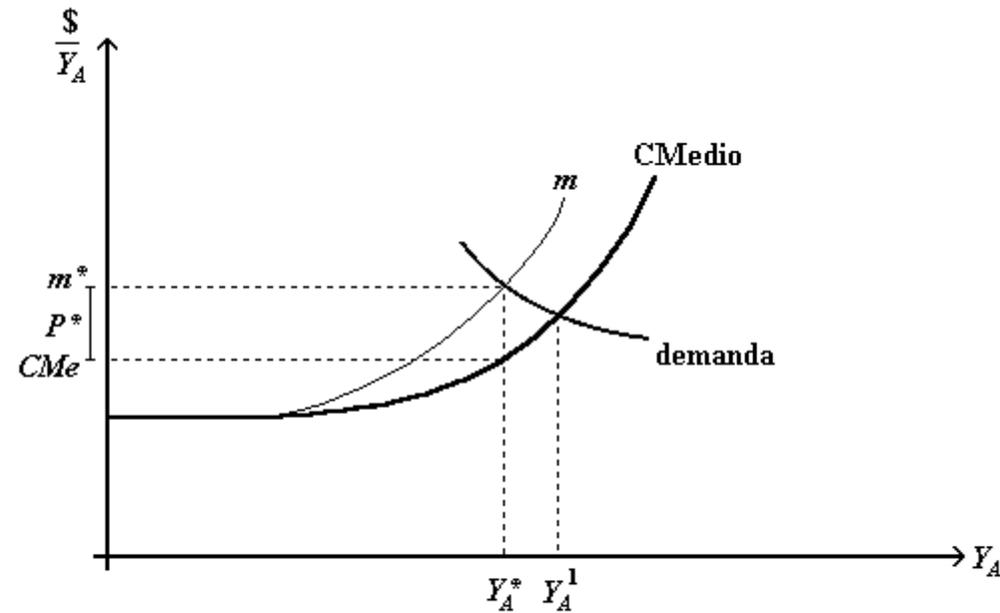
2. En Caso 1: directas siempre más convenientes. En Casos 2 y 3: **directas** más convenientes que **corredores con trasbordos** si:

$$\frac{P_w}{P_v tY} < \left(\frac{\phi_v^C}{\delta^C} - \frac{\phi_v^D}{\delta^D} \right) / \left(\frac{\phi_w^D}{\delta^D} - \frac{\phi_w^C}{\delta^C} \right)$$

∴ Flujos altos favorecen **directas**

4. La restricción oculta tras las tarifas deseadas

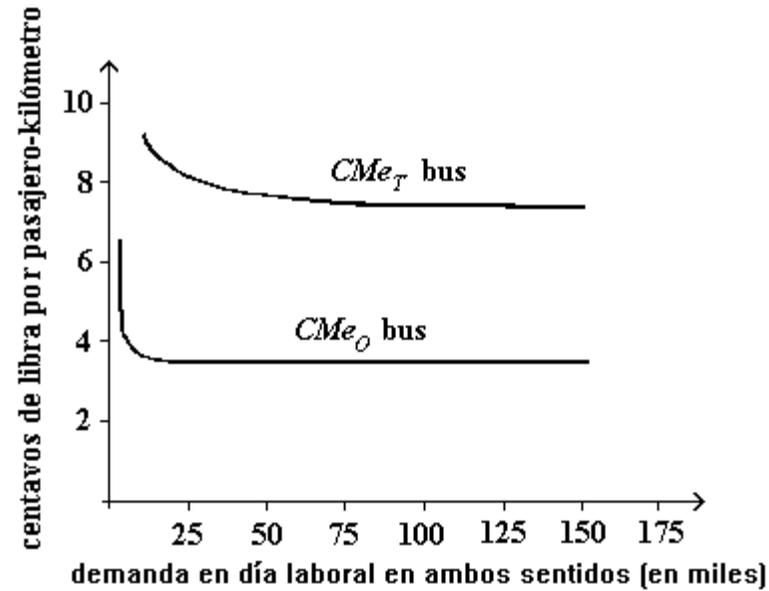
Antecedente: tarificación por congestión (automóviles)



$$P^* = CMg - CMe$$

4. Restricción por tarifas

Costos de operadores y usuarios en buses

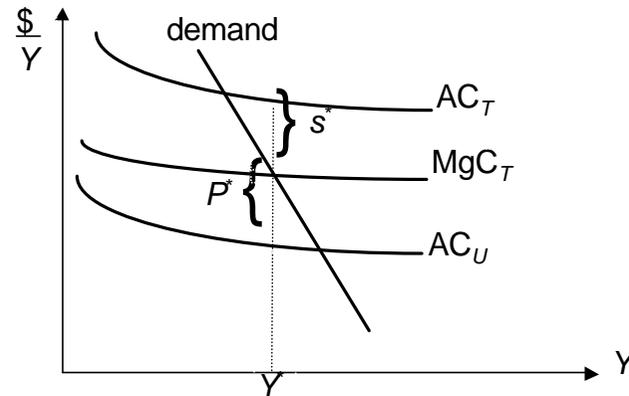


$$CMe_T = CMe_O + CMe_U \quad CMg_T = CMg_O + CMg_U$$

$$P^* = CMg_T - CMe_U \quad ? \quad P^* - CMe_O = CMg_T - CMe_T < 0$$

$$\setminus \quad S^* = CMe_T - CMg_T$$

Tarifa y subsidio óptimos en Transporte Público:

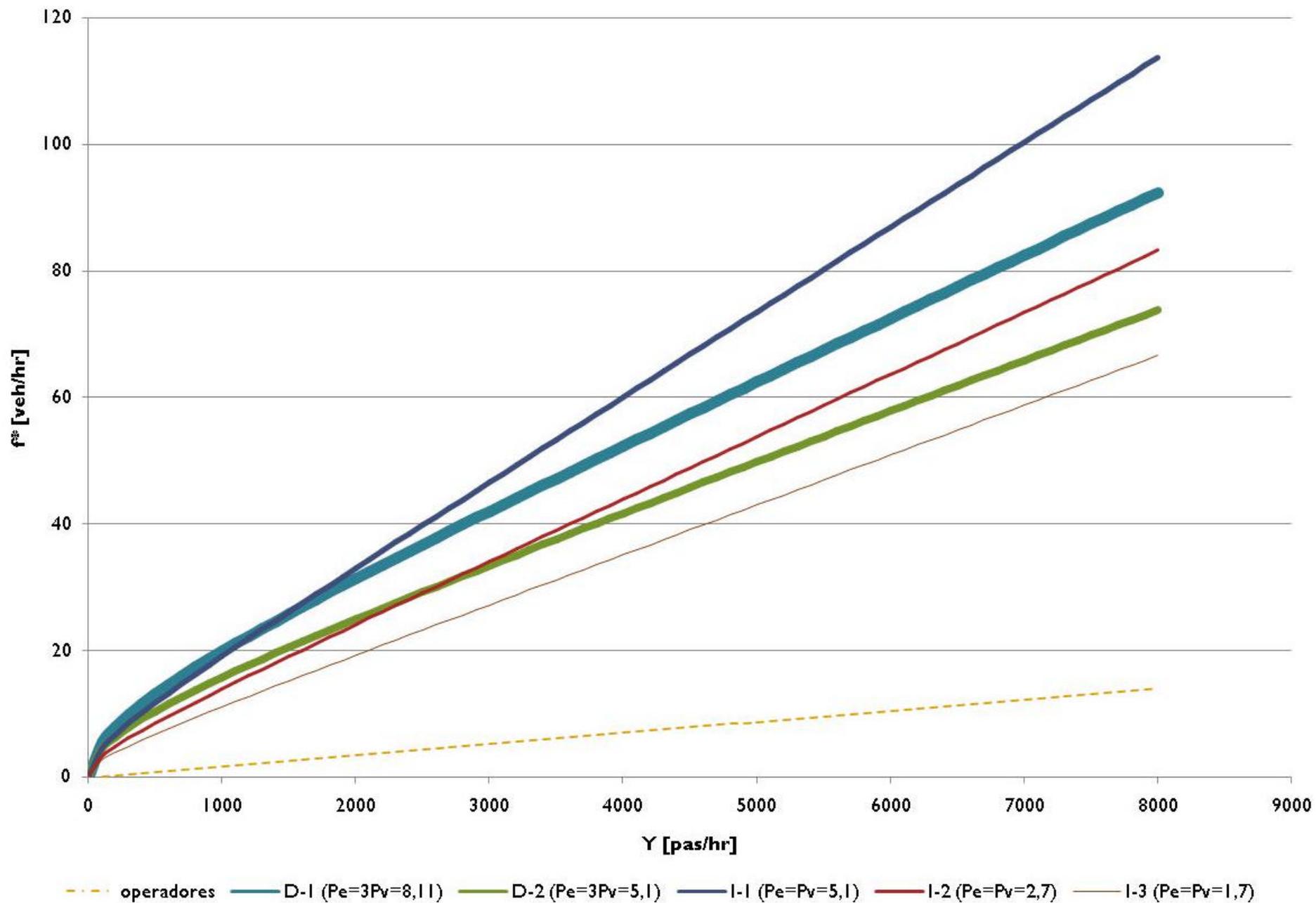


S^* se debe a la incorporación del *costo de usuarios*

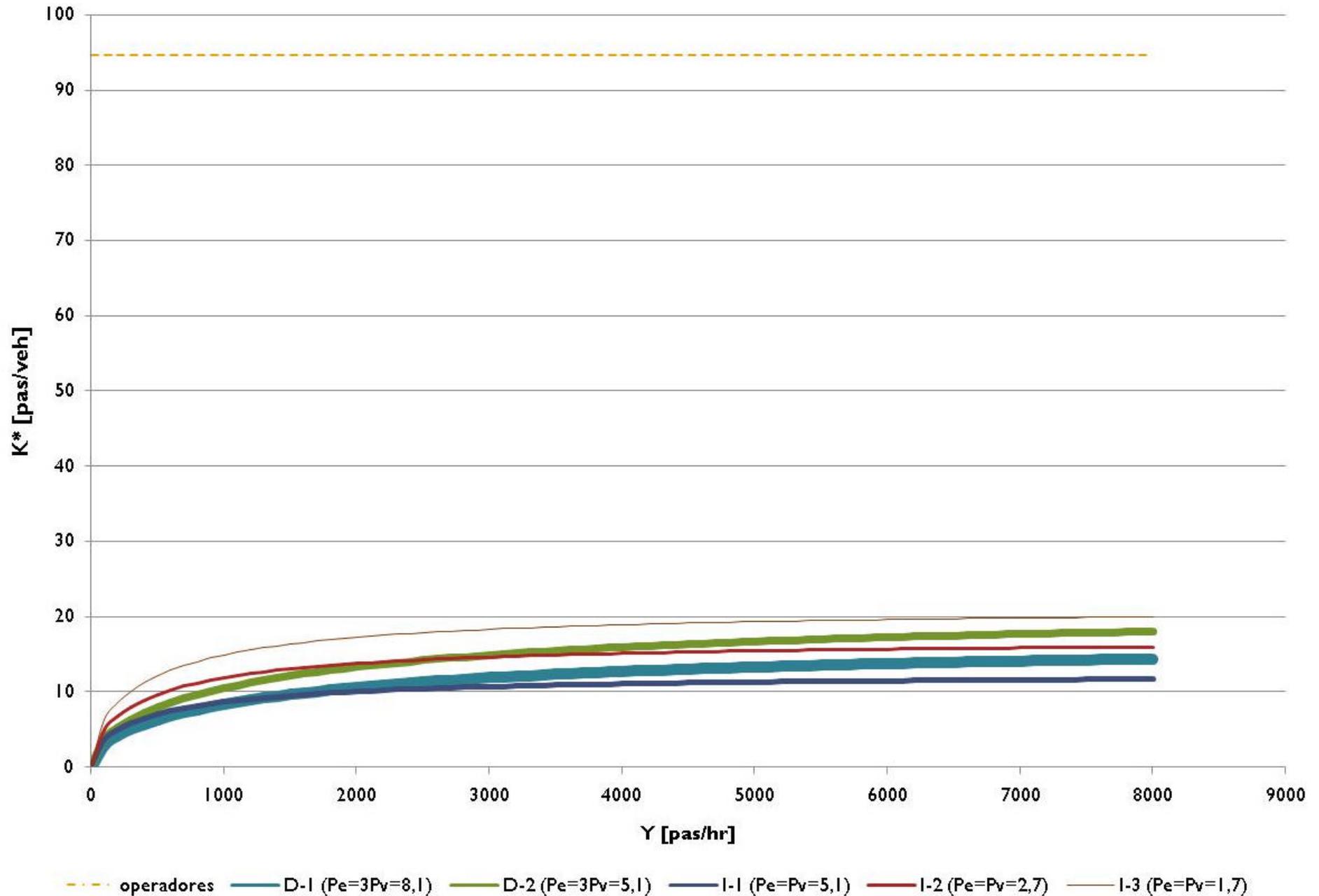
∴ si se impone no subsidiar

P^* ? CMe_o con sus efectos sobre **frecuencias**,
tamaño de buses y **estructura de rutas**

Frecuencias Óptimas



Tamaño de Vehículo Óptimo



Demostración analítica:

$$VRC(f, K) = COp(f, K) + P_e t_e(f, K)Y + P_v t_v(f, K)Y + P_a t_a Y$$

$$\underset{f, K}{Min} VRC = (fT + tY)(C_0 + c_1 K) + P_e \frac{1}{2f} Y + P_v \left(T + t \frac{Y}{f}\right) \frac{l}{L} Y$$

$$s.a. \quad k(f) \leq K$$

$$C_{op} - I \leq 0 \quad (\mathbf{m})$$

$$f^* = \sqrt{\frac{Y}{C_0 T} \left(\frac{P_e}{2(1 + \mathbf{m})} + tY \frac{l}{L} \left[c_1 + \frac{P_v}{(1 + \mathbf{m})} \right] \right)}$$

¡A mayor restricción financiera, menor la importancia del tiempo de los usuarios!

La restricción oculta: cubrir costos (y más) con la tarifa. ¿Efectos?

- ? poca importancia del costo de los usuarios.
- ? frecuencias sub-óptimas.
- ? buses sobredimensionados
- ? estructura en corredores; más trasbordos.

Observación 1: política de autofinanciamiento provoca:

- Autopistas
- Diseño inadecuado del TPS

Observación 2: si tiempos medios totales invariantes ? sustitución de tiempo en vehículo por acceso y espera ? mayor CG.

(no quiero decir te lo dije...)

5. ...pero te lo dije

EL M. 0 1 1 1 0 0 0

En tanto el presidente de la Asociación Chilena de Ingeniería de Transporte, Sergio Jara, dice que lo anterior suena muy sensato, en el caso de la infraestructura vial interurbana, que los usuarios perciban el costo real de usar las obras. "En el caso urbano hay que tener especial cuidado con esa política, porque está en juego el estilo de vida de las personas, ya que la infraestructura condiciona su tiempo de vida.

El académico agrega que es necesario evaluar técnicamente la eficiencia con que se van a asignar los recursos, porque si se actúa sólo en el sentido de hacer las obras que la gente puede pagar van a existir —cosa que ya sucede— excelentes carreteras y transporte privado para la gente del sector oriente de la capital y quienes viven en la Pintana, gente de escasos recursos, no va a poder financiar más que un inadecuado sistema de transporte público.

“Recomendamos **Revista Universitaria (UC), 2002**

- mirar el desarrollo vial y el del transporte público como un solo problema;
- que todos los estudios, y en particular, los de concesiones de carreteras urbanas, sean públicos y transparentes. Eso generaría una discusión ilustrada a través de las revistas especializadas;
- **considerar las fundamentales diferencias en las características operativas y económicas del transporte público y el transporte privado en áreas urbanas, calculando tanto los cobros por congestión como los subsidios en transporte público que conducen al uso óptimo de los recursos;**
- apoyar decididamente la modernización del transporte público de superficie, esperando que la consideración de los puntos anteriores lo hagan un esfuerzo útil; y
- asignar los recursos técnicos, humanos y financieros para hacer del PTUS un plan efectivo.

Espero sinceramente que la contradicción entre la política revelada de enfrentar la congestión con más vialidad y la política declarada de mantener la proporción de usuarios de transporte público, se resuelva a favor de esta última. Para ello es necesario considerar los puntos aquí resumidos. Lo peor que podría pasar es terminar con grandes inversiones en ambos sectores sin solucionar la congestión.”

Anuario U, Diciembre 2004

“Cabe preguntarse si el aumento del tiempo de trasbordo, el posible aumento de la tarifa, la disminución de las frecuencias y la mayor ocupación de los buses, podrán ser contrarrestados en la percepción de los usuarios sólo con el esperado aumento de calidad de los buses. Y todo esto en un contexto en que Santiago se llenará de autopistas. ¿Habrá señal más clara que este panorama para que sigamos subiéndonos al automóvil?”

Conclusiones

- Objetivos declarados y acciones realizadas no parecen compatibles
- Problema estratégico no reconocido: los votos monetarios
- Aunque se mencionan los problemas de diseño, no se habla de ellos
- Frecuencias y tamaño óptimo (y estructura de rutas) dependen del objetivo...
- y también de la restricción financiera

- Efecto operativo de la restricción financiera ?
disminuir valores del tiempo de los usuarios ?
menores frecuencias, buses más grandes, más trasbordos.
- Subsidios **óptimos** necesarios (no cualquier subsidio)
- Problemas de diseño causados por decisiones financieras.
- La transparencia estimula la discusión (gratis)

Los problemas de diseño en Transantiago

Sergio Jara Díaz

Ingeniería de Transporte, Universidad de Chile

Gracias por su atención