



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Movilidad Urbana Sustentable: algunos principios básicos y soluciones

Juan de Dios Ortúzar
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística
Instituto en Sistemas Complejos de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica de Chile
E-mail: jos@ing.puc.cl

CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de congestión

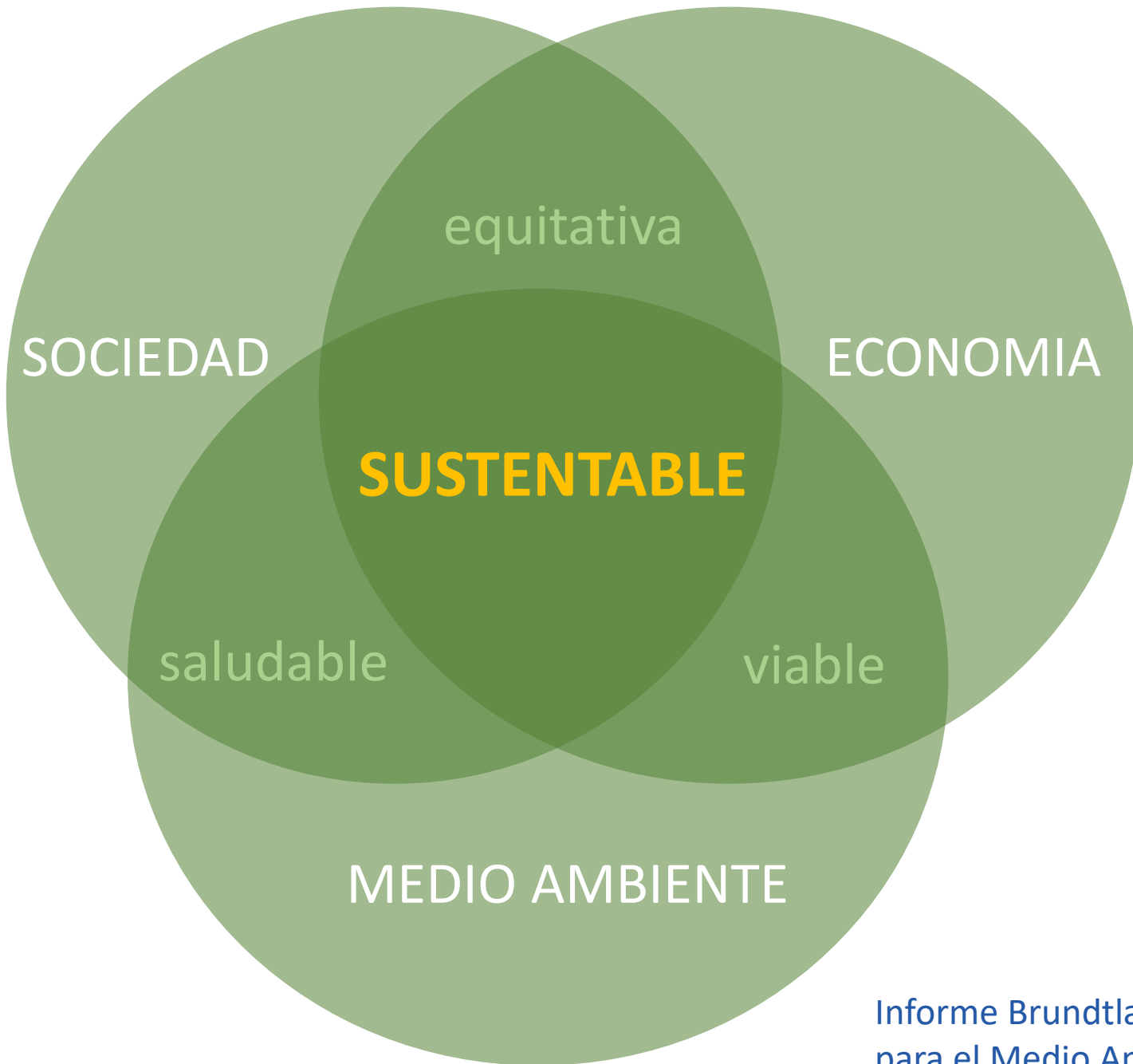
¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

Potenciales soluciones

Propuesta de los especialistas

CONTENIDO

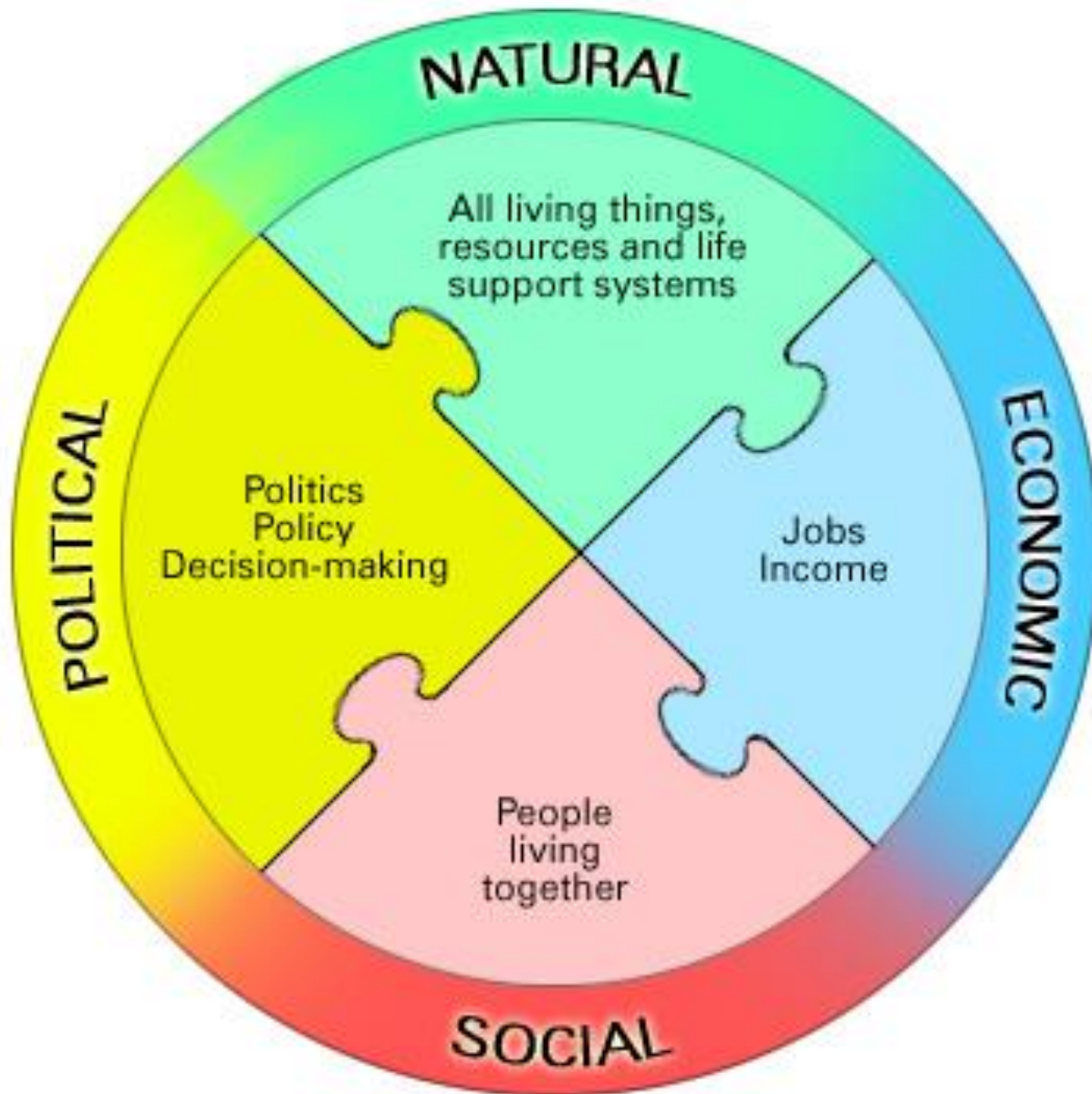
Cómo definir sustentabilidad



Uno de los primeros diagramas usados para examinar el problema de sustentabilidad en ciudades.

Consideraba la interacción de tres aspectos: lo social, lo económico y el medio ambiente.

Informe Brundtlandt (1987) *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, ONU, Washington, D.C.



Posteriormente se agregó, la componente política, o gobernanza, entendiendo que era vital para poder “hacer” y no sólo “aspirar”.

Urban Profile Process

ECONOMICS

Production & Resourcing
 Exchange & Transfer
 Accounting & Regulation
 Consumption & Use
 Labour & Welfare
 Technology & Infrastructure
 Wealth & Distribution

Organization & Governance
 Law & Justice
 Communication & Critique
 Representation & Negotiation
 Security & Accord
 Dialogue & Reconciliation
 Ethics & Accountability

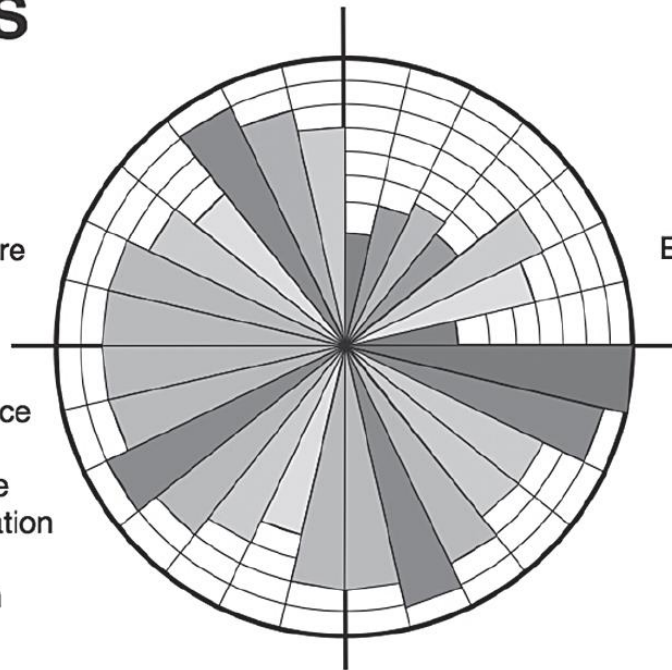
POLITICS

ECOLOGY

Materials & Energy
 Water & Air
 Flora & Fauna
 Habitat & Settlements
 Built Form & Transport
 Embodiment & Sustenance
 Emission & Waste

Identity & Engagement
 Creativity & Recreation
 Memory & Projection
 Belief & Meaning
 Gender & Generations
 Enquiry & Learning
 Well-Being & Health

CULTURE



Hoy se han propuesto versiones bastante más complejas, que incluso permiten verificar los distintos grados de avance o cumplimiento de cada elemento en diversas urbes.

Wilson, P. (2015) Urban Sustainability Theory and Practice. Routledge, Londres.

Circles of Sustainability

Comunidad: incluye diversas realidades de la ciudad en un sentido colectivo y menos funcional que 'sociedad'.



Sustentabilidad, proceso a través del cual las comunidades presentes y futuras florecen armoniosamente

Florecer: prosperar, mejorar sin el sentido lineal del progreso, e incluyendo conceptos como bienestar y belleza



Armónico: en relación a conexión y equidad



PILARES: social-cultural, económico, medioambiental, política-gobernanza

CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de congestión

En las 70 principales ciudades de EE.UU.:

- en 20 años la población creció en 10% y los km. de vías urbanas en más de 15%;
 - pero los tiempos perdidos se triplicaron, a 80 mil millones de dólares al año;
 - los conductores gastaron 60 horas al año en “tacos” (el doble que 10 años antes);
- en promedio, las horas de congestión crecieron en 50% y el tiempo de viaje en hora punta aumentó cerca de 10%.

Además, el aumento y la extensión horaria de la congestión ha llegado a producir efectos nocivos adicionales como la “furia vial” y el crecimiento de conductas poco seguras al conducir.

Y todo esto ha sucedido en el país con mayor inversión en autopistas urbanas en el mundo ... claramente, la solución no va por ese lado.

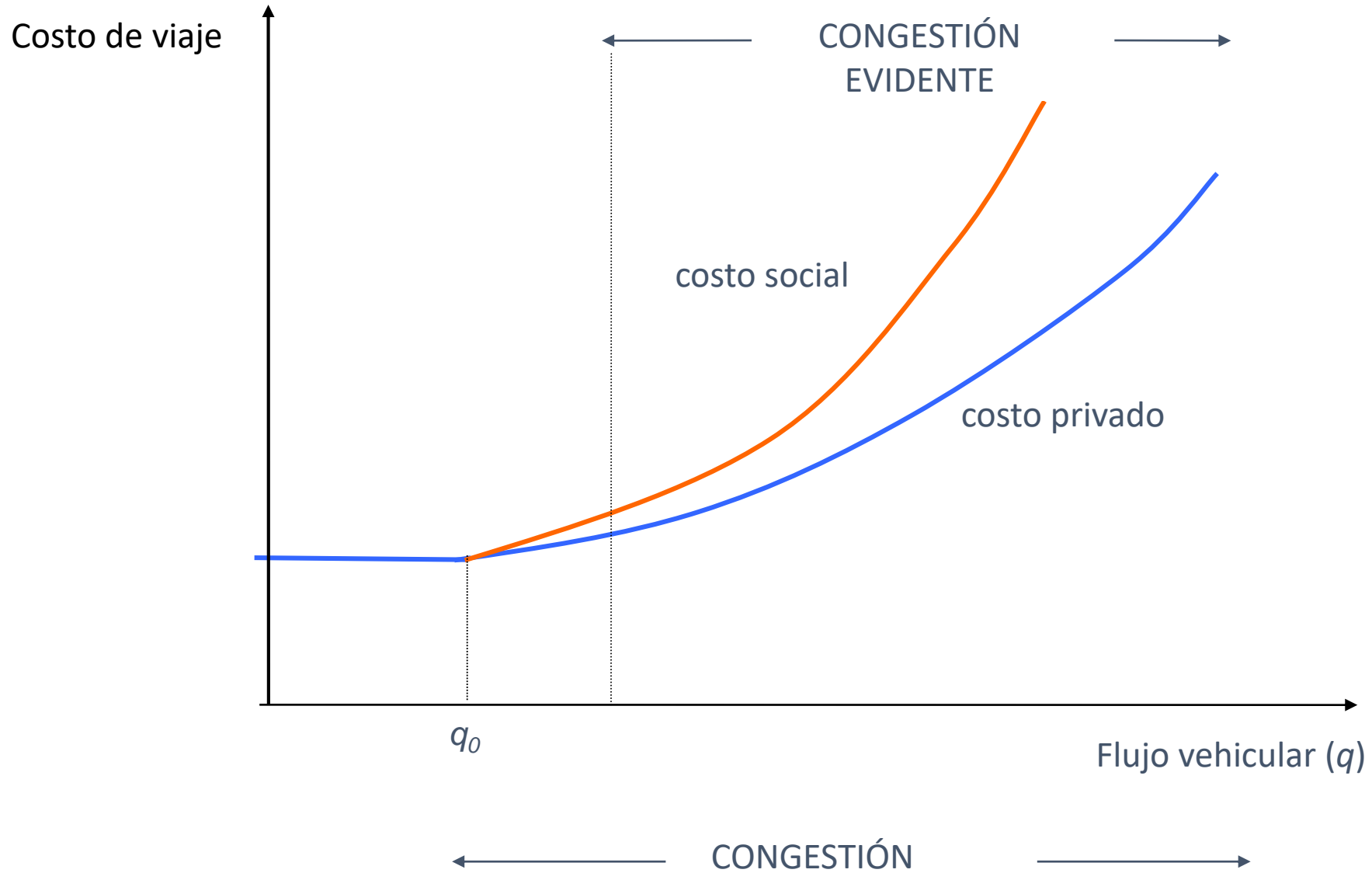
La Ingeniería de Tránsito (IT) ayuda a entender el problema:

- el grado de saturación (x) de una vía se define como la razón entre el flujo de vehículos (q) que circula por ella y su capacidad (s);
 - se acepta comúnmente que existe congestión si $x > 0,7$;
- el problema se torna caótico (como en algunas ciudades de EE.UU. y Asia) a partir de un grado de saturación de 0,9.

El costo más visible de la congestión es el aumento del tiempo de viaje:

- sin embargo, cada persona sólo percibe el efecto sobre su propio viaje (costo medio o privado) y desconoce el efecto sobre los demás viajeros.

Costos privados y sociales de la congestión



La Ingeniería de Tránsito (IT) ayuda a entender el problema:

- el grado de saturación (x) de una vía se define como la razón entre el flujo de vehículos (q) que circula por ella y su capacidad (s);
 - se acepta comúnmente que existe congestión si $x > 0,7$;
- el problema se torna caótico (como en algunas ciudades de EE.UU. y Asia) a partir de un grado de saturación de 0,9.

El costo más visible de la congestión es el aumento del tiempo de viaje:

- sin embargo, cada persona sólo percibe el efecto sobre su propio viaje (costo medio o privado) y desconoce el efecto sobre los demás viajeros.

Además, el flujo se compone de autos, buses y camiones:

- en IT, un auto se considera como 1 v.eq. y transporta 1,25 pasajeros (Santiago);
 - un bus urbano es igual a 2,5 v.eq. y transporta cerca de 40 pasajeros;

→ un bus es alrededor de 12 veces más eficiente que un auto en términos de congestión (uso del escaso espacio vial).

De hecho, un estudio reciente en Santiago (Rizzi y de la Maza, 2017), ha calculado los costos marginales externos de viajar en automóvil y transporte público (considerando congestión, contaminación y accidentes) llegando a los siguientes valores:

	Autos (Gasolina)	Autos (Diesel)	Buses
Costo (US\$/km) Hora Punta	0,51	0,53	1,80
Costo (US\$/pass-km) Punta	0,41	0,42	0,04
Costo (US\$/km) Fuera Punta	0,15	0,16	0,78
Costo (US\$/pass-km) FP	0,12	0,13	0,05



En ciudades la capacidad vial está dada por las intersecciones con semáforo; en cada arco de acceso a ellas se cumple:

$$x = \frac{q}{\lambda \times s}$$

donde λ es la proporción de tiempo de verde del acceso.

Esto permite ver que para reducir la congestión (que es una función creciente en x), sólo hay tres posibilidades:

- remplazar semáforos por pasos a desnivel, en cuyo caso $\lambda = 1$ (mencionar Caracas 1976) y sólo quedan las otras dos opciones;
- aumentar la capacidad s ; solución de “sentido común” o del “hombre de la calle”, que – desgraciadamente – es muy inadecuada y de corto plazo;
- reducir el flujo vehicular q ; esto es, lograr que algunos usuarios de auto cambien de hora, ruta o modo (**gestionar la demanda**).

CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de la congestión

Algunas paradojas de tráfico urbano

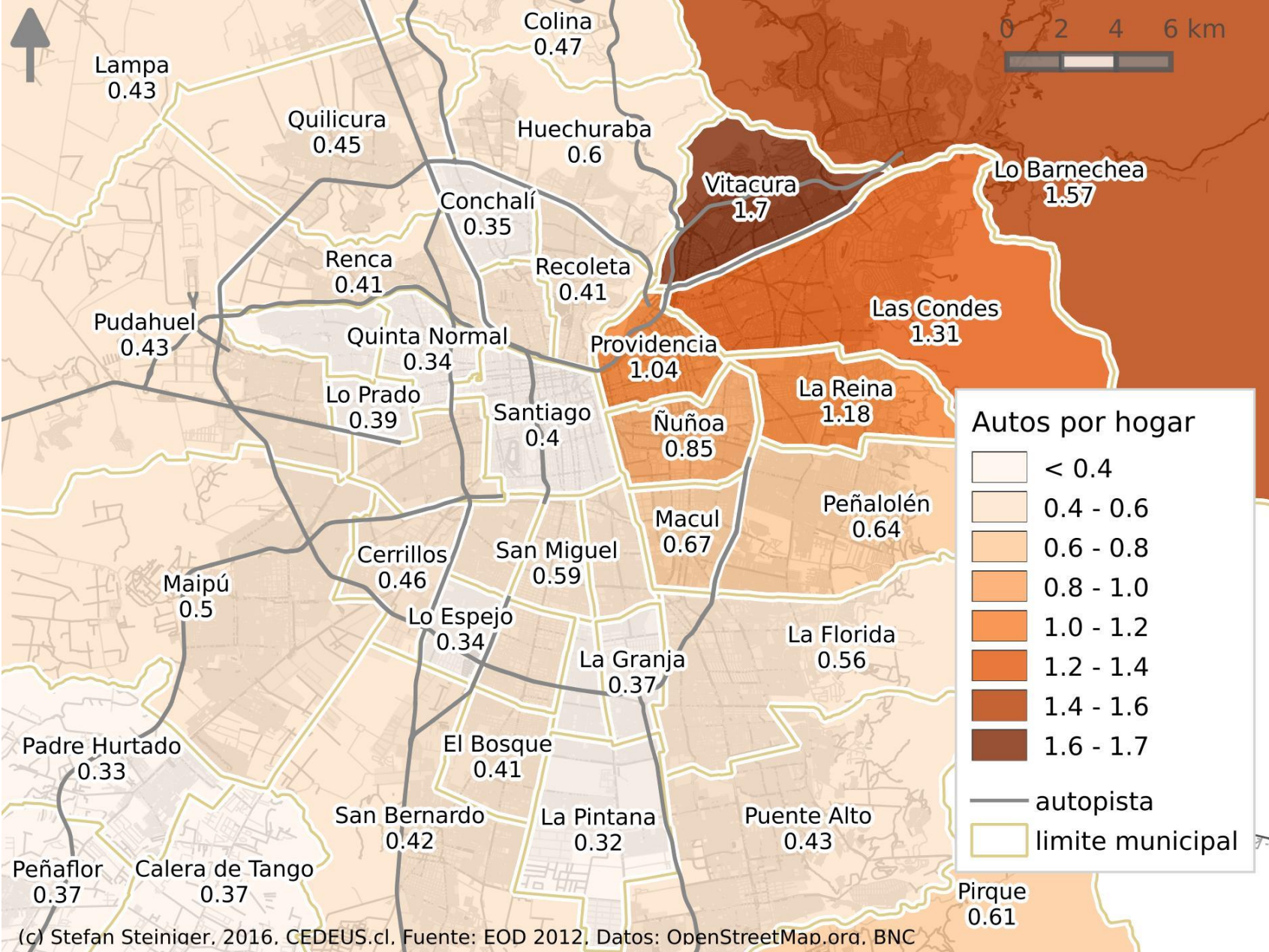
¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

Igualdad se define como el derecho de diferentes grupos de personas a tener una posición social similar y recibir el mismo trato

Cambridge Dictionary



Número de autos por hogar en Santiago



Si se proyecta la tendencia del 2019, el **auto particular pasaría de 48% a 58%** del total de viajes en Santiago

Pero el auto es un modo que **no está disponible para toda la población**, aunque sus efectos en congestión y contaminación **afectan a toda la ciudad**

Si bien es un modo flexible y cómodo, su utilización simultánea tiende a **colapsar la red vial**

Necesitamos tomar medidas que **rompan esta tendencia**

51





42

45

1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1

1

1

1

1

@cbucknell

¿Es esta una pista sólo bus o una pista de taxis?



¿Qué efecto tienen los taxis en la pista de buses?

Hora	Con taxis (Abril 1 a 22)	Sin taxis (Mayo 12)
8:00 a 8:30	6.2 km/h	13.5 km/h
8:30 a 8:45	4.5 km/h	14.7 km/h

Aumentó
227%

Velocidad promedio de buses [km/h]

La velocidad de los buses en corredores es bastante más alta que en el sistema completo y no se deteriora con el aumento de los viajes en auto

		Corredores de Buses	Sistema
Punta Mañana 7:00 - 9:00	2014	22,3	18,9
	2015	22,2	18,5
	2016	22,1	18,1
	Variación	-0,7%	-4,4%
Punta Tarde 17:30 - 19:30	2014	21,9	17,9
	2015	22,1	17,5
	2016	22,7	16,9
	Variación	3,6%	-5,8%

1 Considera datos de marzo a noviembre

2 Considera los corredores: Santa Rosa, Departamental, Grecia, Dorsal, Jaime Guzmán, Pajaritos, Pedro Aguirre Cerda

METRO vs TRANSMILENO

METRO SANTIAGO

118 km.

118 estaciones

6 líneas

45.000 pax/hr-sentido

2.800.000 pax/día

Velocidad entre 23 y 40 km/hr

Densidad máxima supera los 6 pax/m²

TRANSMILENIO BOGOTA

113 km. troncales

147 estaciones

12 líneas

48.000 pax/hr-sentido

2.200.000 pax/día

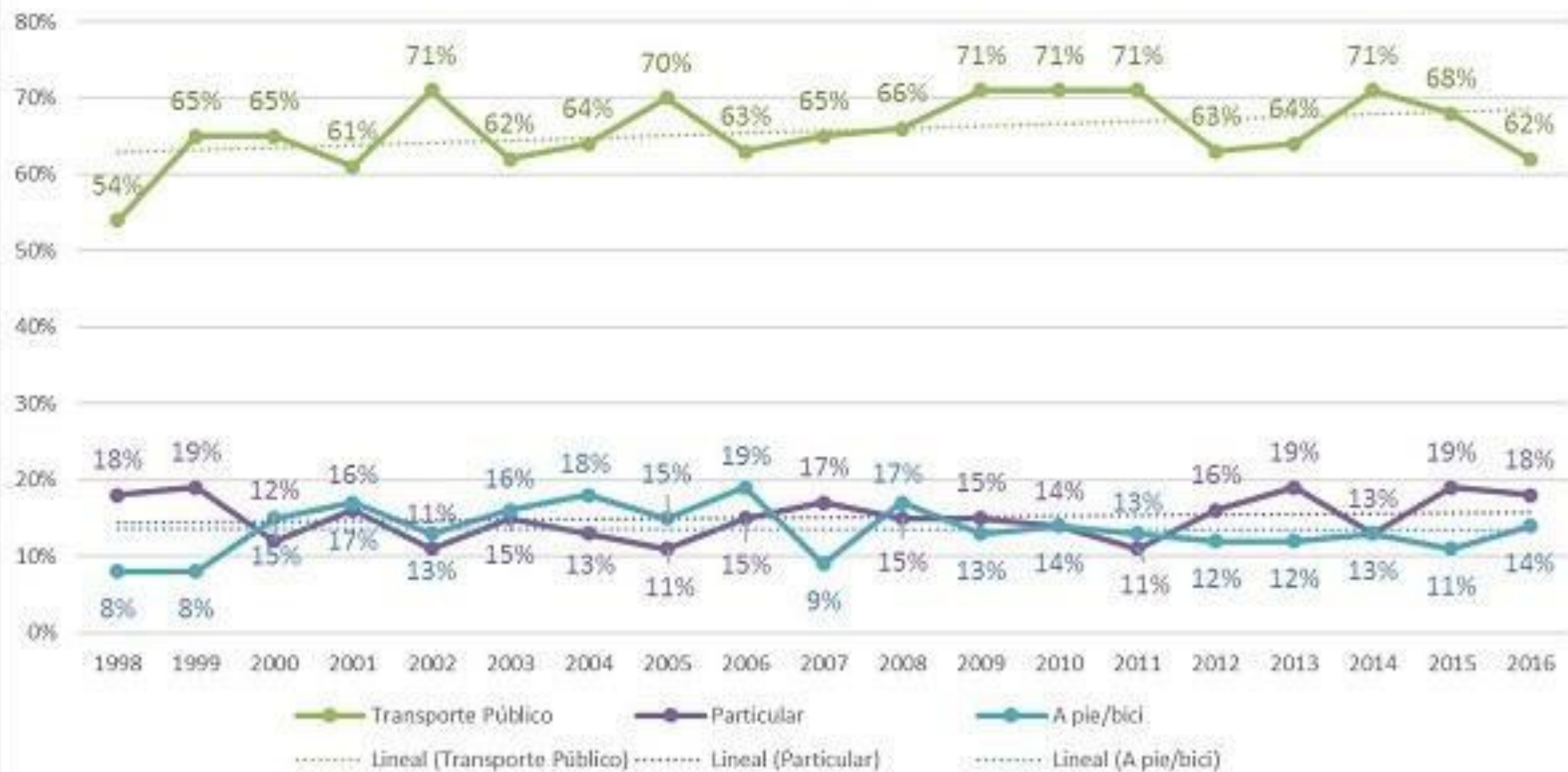
Velocidad 26,2 km/hr

Densidad máxima de aprox. 6 pax/m²

Sin embargo hay una diferencia sorprendente: la partición modal de transporte privado y público en viajes motorizados en Santiago:

	1977	1991	2001	2012
Tpte privado	11,6%	19,7%	39,2%	46,4%
Tte público	83,4%	70,5%	51,9%	46,9%

Movilidad 1998-2016 Bogotá Cómo Vamos



CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de la congestión

Algunas paradojas de tráfico urbano

¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

Potenciales soluciones

Desde la movilidad, el **desafío de sustentabilidad urbana** tiene tres componentes:

- (i) Excesiva dependencia del automóvil particular;
- (ii) Sobre consumo de suelo (muchas veces de gran calidad agrícola);
- (iii) Huella ecológica demasiado alta .

Jane Jacobs (1961) habló de “*problems in organised complexity*”; Rittel y Webber (1973) hablan de “*wicked problems*”, a diferencia de “*tame problems*” en física.

son difíciles de resolver
son interdependientes y tienen múltiples causas
las soluciones pueden llevar a consecuencias inesperadas
no tienen soluciones claras
son socialmente complejos
involucran cambios de comportamiento
están entre fronteras organizacionales
aparentemente sin solución, con historial de fracasos
no hay soluciones absolutas: se puede mejorar o empeorar

WICKED
PROBLEMS

Las ciudades siguen siendo **problemas retorcidos en complejidad organizada**.

No hay soluciones óptimas, pero si crecientes habilidades y poder de cómputo que permiten creer en posibles mejoras. Además, aún cuando - por definición - todos los modelos están malos, muchos son útiles y podemos aplicarlos con ventajas.

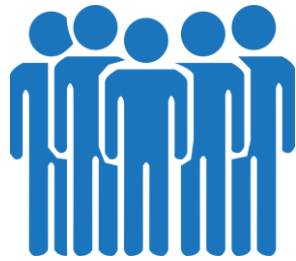
Eric Miller (2018) sostiene que los académicos debemos:

- (i) Salir al mundo, trabajar en problemas reales, debatir y ensuciarnos las manos;
- (ii) Popularizar la ciencia, y hacer saber al público lo que sabemos;
- (iii) Enmarcar nuestro mensaje en términos del riesgo que conlleva no hacer nada.

La evaluación social de proyectos debe incluir elementos nuevos, no sólo ahorros de tiempo que – además – pueden ser sólo de corto plazo; si la demanda inducida consume 90% de la capacidad vial añadida en 3-5 años ...

¿tiene sentido seguir invirtiendo en aumentarla?

Evaluación Social



Hacinamiento



Confiabilidad



Espacio y Entorno Urbano

Es clave que las metodologías de evaluación social incluyan elementos adicionales a los costos y tiempos de viaje

Las Cinco D del Desarrollo Compacto

Al discutir sustentabilidad urbana, no puede quedar fuera el crecimiento de las ciudades. En este sentido, se ha planteado la importancia de las, ahora, cinco **D** (Campoli, 2012; Cervero y Kockelman, 1997):

- **D**ensidad: Si, disminuye el uso indiscriminado del auto (37,5 unidades/ha para sustentar TP)
- **D**iversidad: No sólo residencias, sino que comercio, empleos, etc.
- **D**iseño: La más compleja por sus muchos significados y niveles (espacios públicos bien concebidos y variados), diseño detallado (calles para peatones, estacionamientos en partes traseras), diseño amigable (manzanas cortas con más intersecciones favorece la “walkability”)
- (Accesibilidad a) **D**estinos: Cuántos se pueden alcanzar en 10-15 min por distintos modos
- (Gestión de) **D**emanda: Estacionamientos caros y limitados, tarificación vial.

Uso de Suelo: Evitar “sprawl”, crear centros accesibles por TP o caminando, mantener límite urbano (usar metas 15-25 unidades/ha), tren de cercanías, evitar autopistas, adquirir terrenos y aplicar TOD, aplicar enfoque de *Complete Streets*.

Porque no es conveniente la “restricción vehicular” (por ejemplo, un sistema como *pico y placa* en América Latina)?

Pues su efecto es el esperado solamente en el muy corto plazo:

- a poco andar, muchos usuarios adquieren un segundo o tercer vehículo;
- estos vehículos, además, son más antiguos y están peor mantenidos y, por ende, producen mayor contaminación.



CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de la congestión

Algunas paradojas de tráfico urbano

¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

Potenciales soluciones

Propuesta de los especialistas

Se requiere una **Autoridad Metropolitana** y buena información pública; hay que revertir la “common sense fallacy” (ver Harding, 2014).

El transporte es un problema de **gran escala**. Los límites físicos arbitrarios (que definen los distintos municipios) no tienen sentido.

Se necesita coordinar los **diferentes modos de transporte**. No buscar la competencia, sino que favorecer la cooperación.

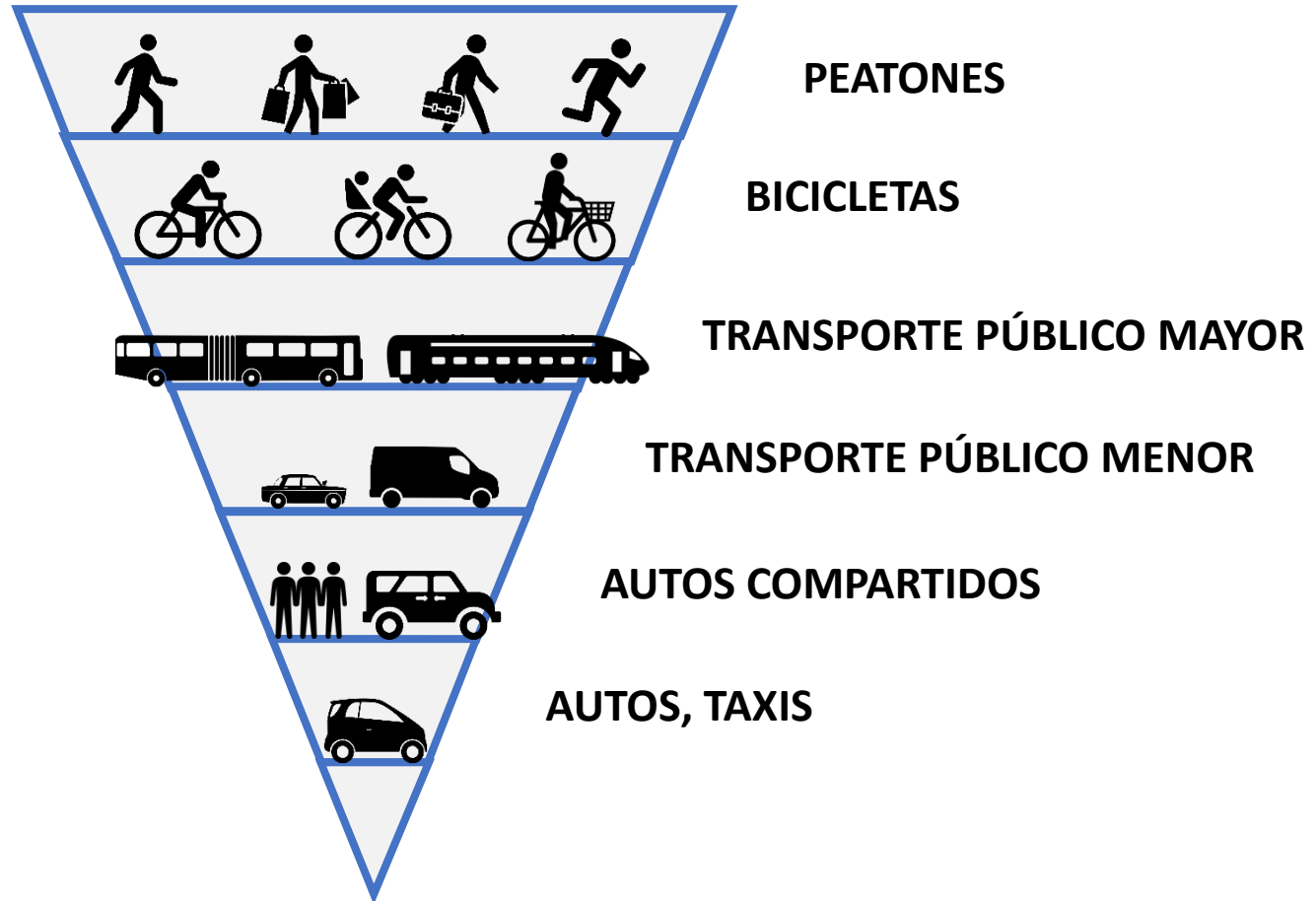
También se requiere coordinación entre **transporte y uso de suelo**.

En democracia es difícil alcanzar una visión unificada (y de hecho comúnmente no existe); el mercado moldea significativamente futuros que no son tan buenos. Se requiere un enfoque de “planificación continua” y ponernos de acuerdo en ciertos temas fundamentales, por ejemplo, evitar el uso indiscriminado del auto y apoyar a modos más eficientes y saludables – desde todo punto de vista.

Por esto, es importante generar procesos adecuados de **participación ciudadana**.

Esta no sólo permite apropiarse y valorar lo que está disponible, también permite **mejorar las intervenciones, precisar las necesidades y recoger el contexto local**.

Pirámide Invertida del Transporte



Disputar espacio al automóvil



Pasando de calles como esta ...

Disputar espacio al automóvil



a otras como [esta](#)

Un bien público congestionado **debe** ser tarifado a costo marginal. Curiosamente, en muchos países sólo los servicios tradicionales, como agua, electricidad y teléfonos, operan de esta forma.

Así, para las vías se propone una política de *garrote y zanahoria*. El *garrote* implica cobrar a los automovilistas el costo marginal (social) de circular, para que tomen decisiones de viaje (modo, hora y ruta) basadas en los costos reales del sistema. Esta, *tarificación vial*, se ha implementado en Singapur, países nórdicos y Londres.

Problema: cómo traducir el valor óptimo a una tarifa práctica (la “más apropiada” a implementar)?

- depende si sólo se desea tarifcar por congestión, o si se incorpora otras externalidades;
- lo ultimo es recomendable desde el punto de vista de defensa del sistema.

También hay problemas de aproximación:

- la tarifa óptima es, por su naturaleza (diferencia entre costo social y privado), distinta en distintos ejes viales y a diversas horas del día;
- por ende, si se trabaja con cordones como es usual en la práctica y se permite que tarifa sólo varíe en periodos discretos, se genera necesidad de aproximar;
 - cómo hacerlo, es materia de estudio.

Finalmente, la tarifa más adecuada también depende de cómo se defina el área a tarifcar:

- existe evidencia en la literatura que el problema de selección del área y la tarifa más apropiada es uno solo;
- diseñadores han optado por soluciones simples en busca de aceptabilidad, a riesgo de perder la posibilidad de lograr mayores beneficios económicos.

Para culminar interesa el tema de neutralidad fiscal del proyecto.

- hace unos años, la *Commission for Integrated Transport* del Reino Unido, que une al *Royal Automobile Club*, la *Confederation of British Industry* y la *Road Haulage Association*, se puso de acuerdo en apoyar y promover la TV;
- pero, ésta se debía presentar en un marco legal que redujera el actual impuesto de circulación (*Road Licence*) en el equivalente a lo que se esperaría obtener por concepto de ingresos del proyecto;

Proponemos hacer exactamente lo mismo en otras partes

Un bien público congestionado debe ser tarifado a costo marginal. Curiosamente, en muchos países sólo los servicios tradicionales, como agua, electricidad y teléfonos, operan así.

Así, para las vías se propone una política de *garrote y zanahoria*. El *garrote* implica cobrar a los automovilistas el costo marginal (social) de circular, para que tomen decisiones de viaje (modo, hora y ruta) basadas en los costos reales del sistema. Esta, *tarificación vial*, se ha implementado en Singapur, países nórdicos y Londres.

La *zanahoria* consiste en proveer un sistema de transporte público digno, eficiente y seguro, que se pueda mejorar continuamente con los fondos de la tarificación vial, incluyendo eventuales subsidios.

Ambos elementos son clave para una estrategia sustentable !

No obstante, lo más importante es que necesitamos mejores políticos (*“political champions”*, como Livingstone en Londres, Lerner en Curitiba y Peñaloza en Bogotá), que escuchen, aprendan y luego lideren con decisión, utilizando toda la información disponible.

El público necesita exigirle más a sus políticos; todos debemos pensar en nuestros nietos.

Los políticos – desgraciadamente – están centrados en el corto plazo; se requieren instituciones que trasciendan, independientemente de la agenda política del gobierno de turno.

En resumen, ¿qué se necesita?

Voluntad política ...

Un Political Champion !

Bibliografía

- Braess, D., Nagurney, A. y Wakolbinger, T. (2005) On a paradox of traffic planning. *Transportation Science* **39**, 446–450.
- Campoli, J. (2012) *Made for Walking: Density and Neighbourhood Form*. Lincoln Institute of Land Policy, Washington, D.C.
- Cervero, R. y Kockelman, K. (1997) Travel demand and the 3Ds: density, diversity and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **2**, 199-219.
- CEDEUS (2017) Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (www.cedeus.cl), Santiago.
- Harding, T. (2014) Common Sense Fallacy (<https://yandoo.wordpress.com/2014/12/28/common-sense-fallacy/>).
- Informe Brundtlandt (1987) *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, ONU, Washington, D.C.
- Jacobs, J. (1961) *The Death and Life of Great American Cities*. Random House, Nueva York.
- Miller, E. (2018) Viewpoint: Integrated urban modelling- past, present and future. *The Journal of Transport and Land Use* **11**, 387-399.
- Mogridge, M.J.H., Holden, D.J., Bird, J. y Terzis, G.C. (1987) The Downs-Thomson paradox and the transportation planning process. *International Journal of Transport Economics* **14**, 283-311.
- Ortúzar, J. de D. (2019) Sustainable urban mobility: what can be done to achieve it? *Journal of the Indian Institute of Science* **99**, 683-693.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011) *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Rittel, H.W.J y Webber, M.M. (1973) Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* **4**, 155-169.
- Rizzi, L.I. y de la Maza, C. (2017) The external costs of private versus public road transport in the Metropolitan Area of Santiago, Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **98**, 123-140.
- Wilson, P. (2015) *Urban Sustainability Theory and Practice*. Routledge, Londres.