



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](mailto:jos@ing.puc.cl)

# CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

Definición y costos de congestión

¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

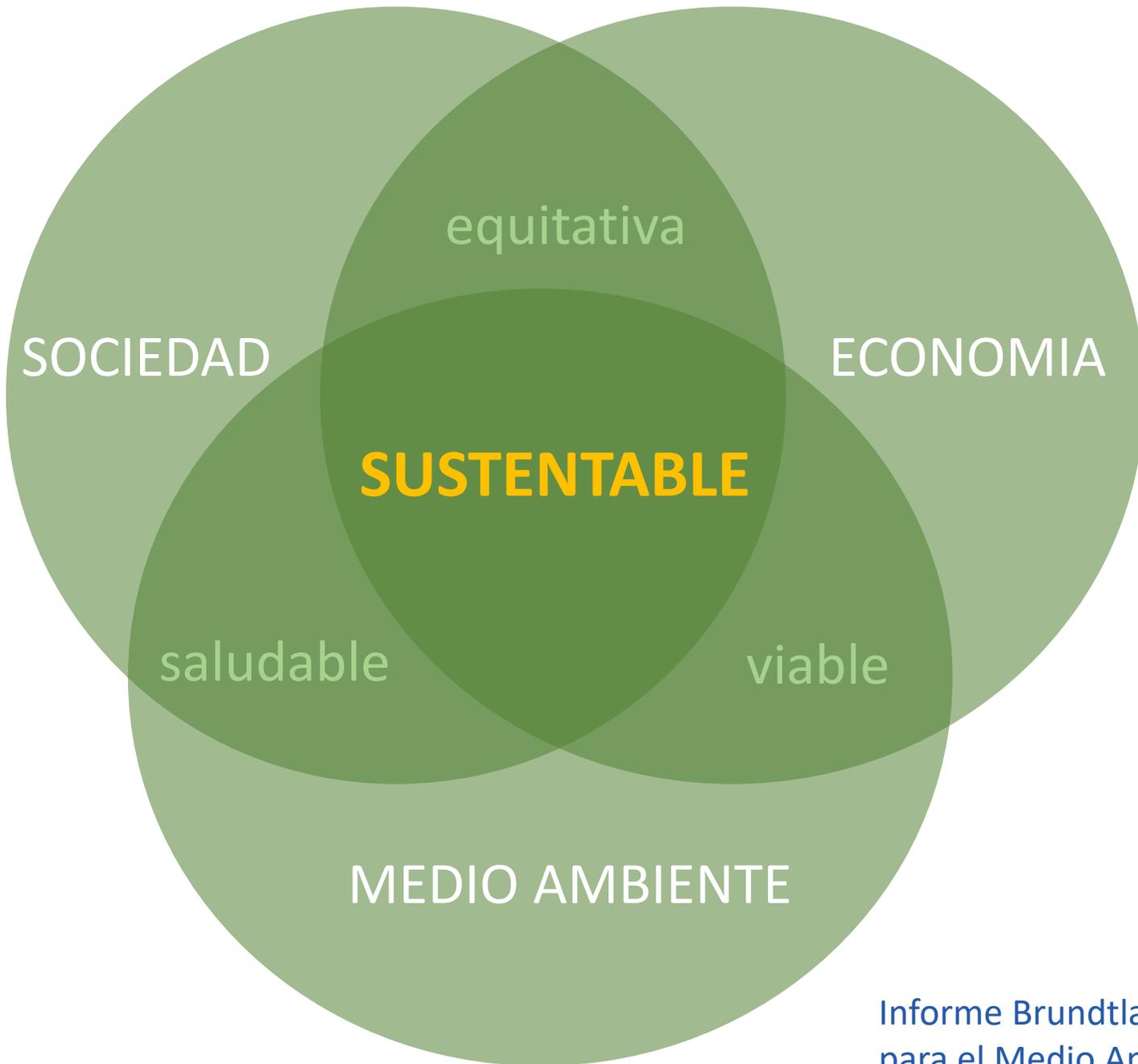
Potenciales soluciones

Propuesta de los especialistas

# CONTENIDO

Cómo definir sustentabilidad

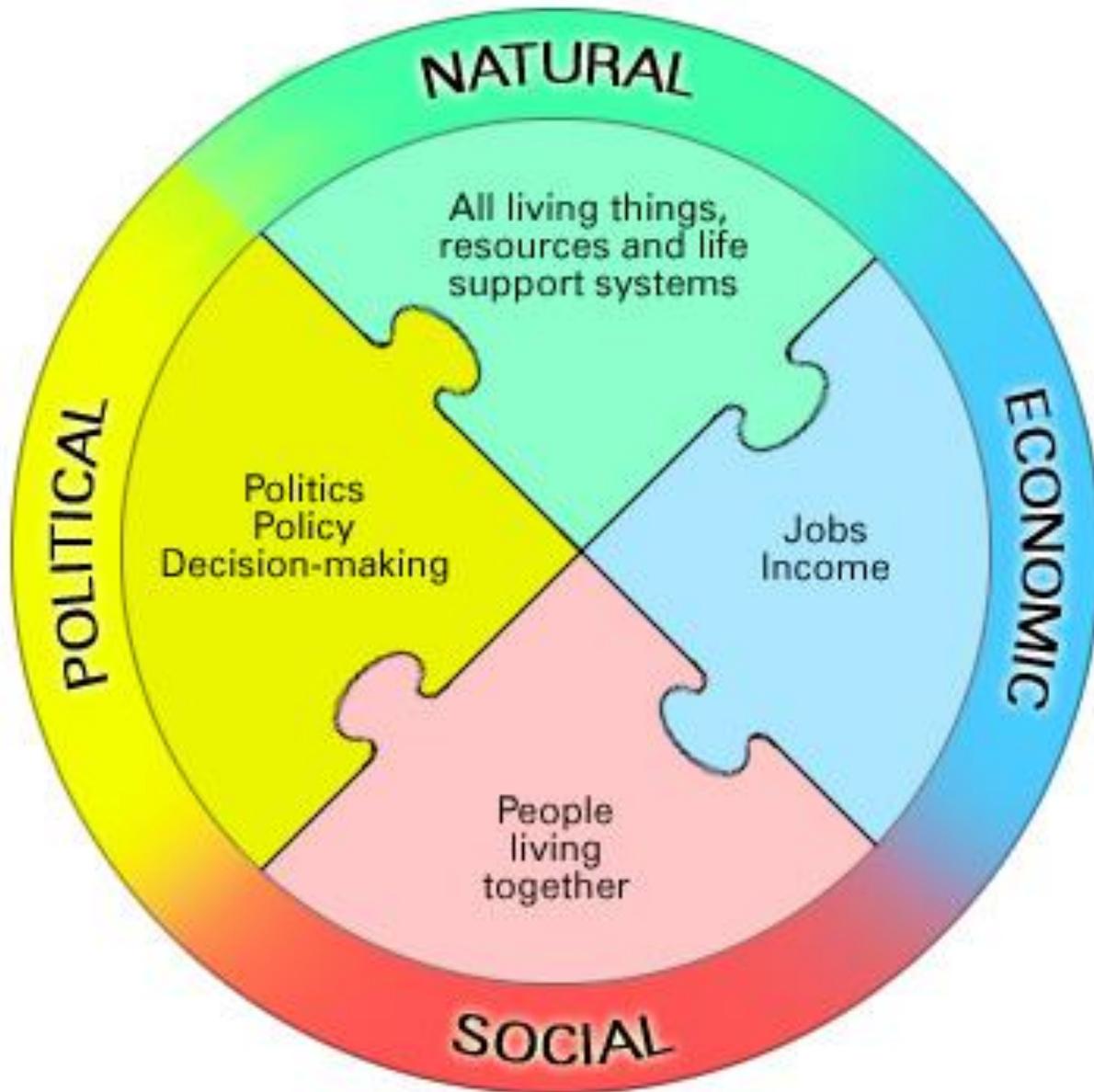
---



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

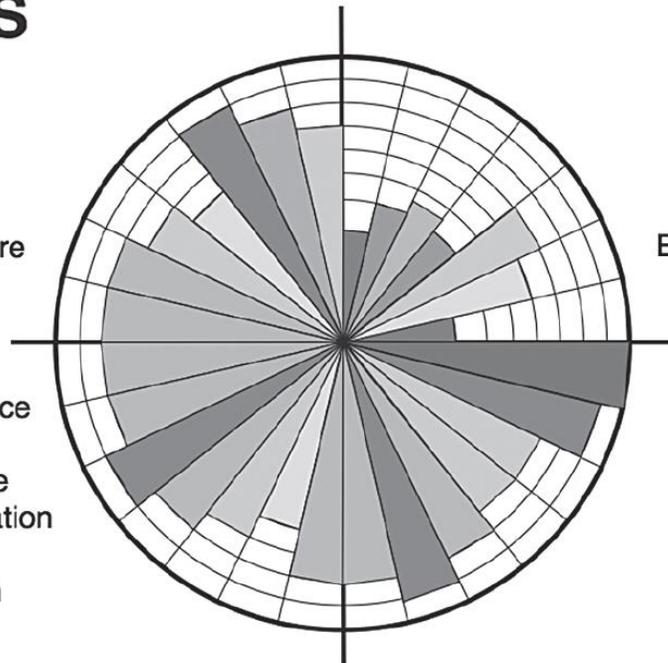
## POLITICS

## 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.**

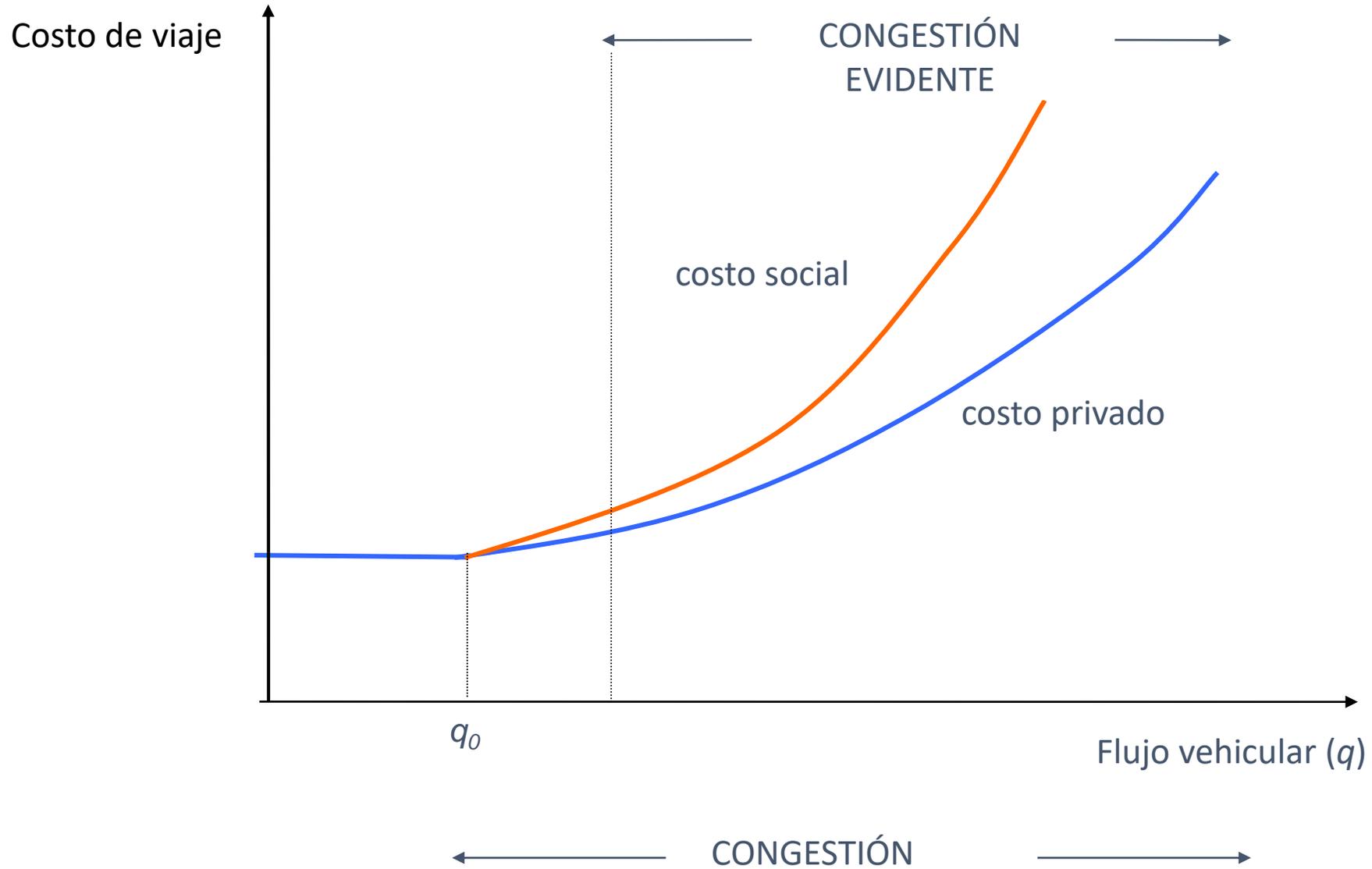
La Ingeniería de Tránsito (IT) ayuda a entender el problema:

- 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:

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

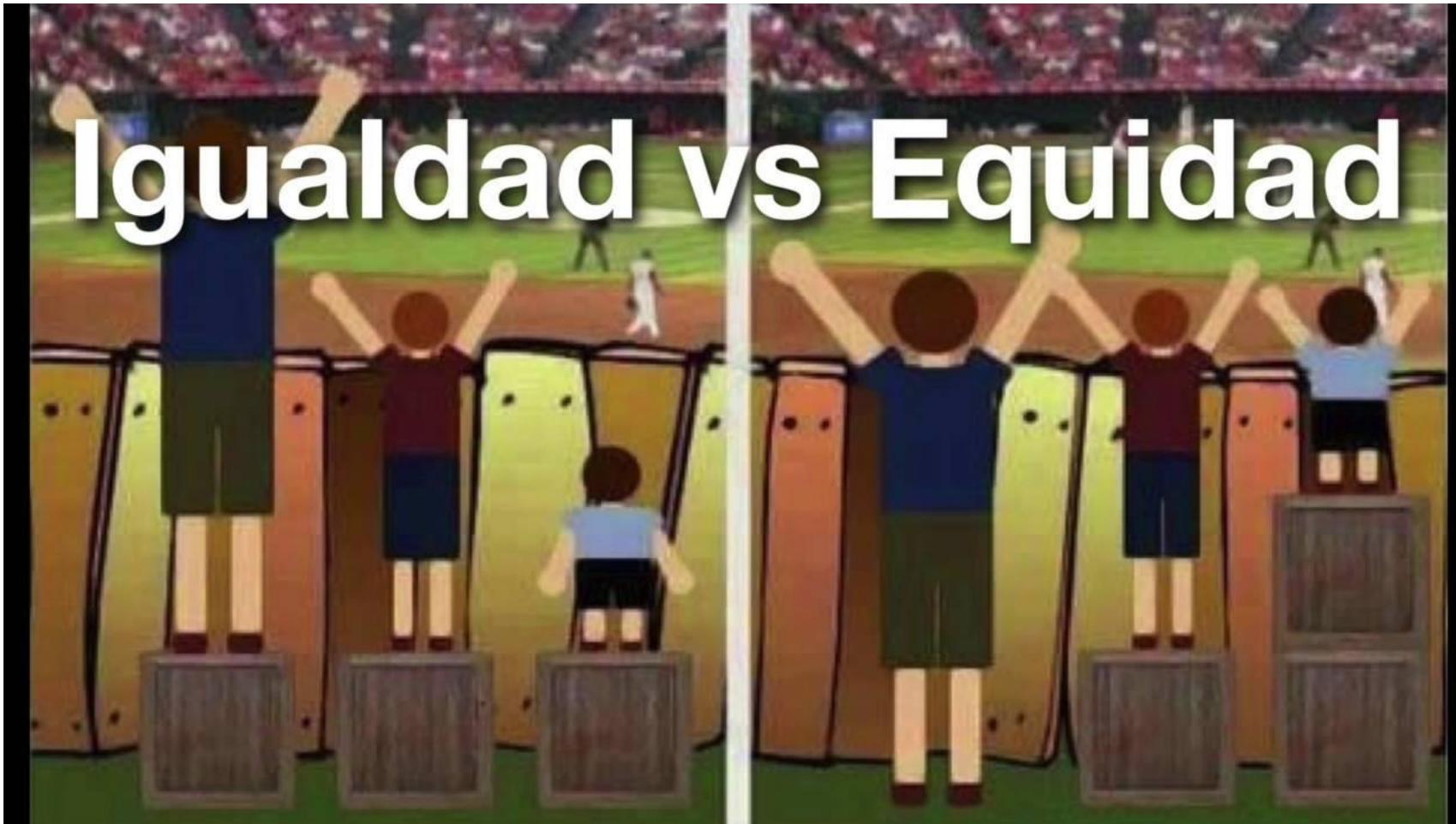
Algunas paradojas de tráfico urbano

---

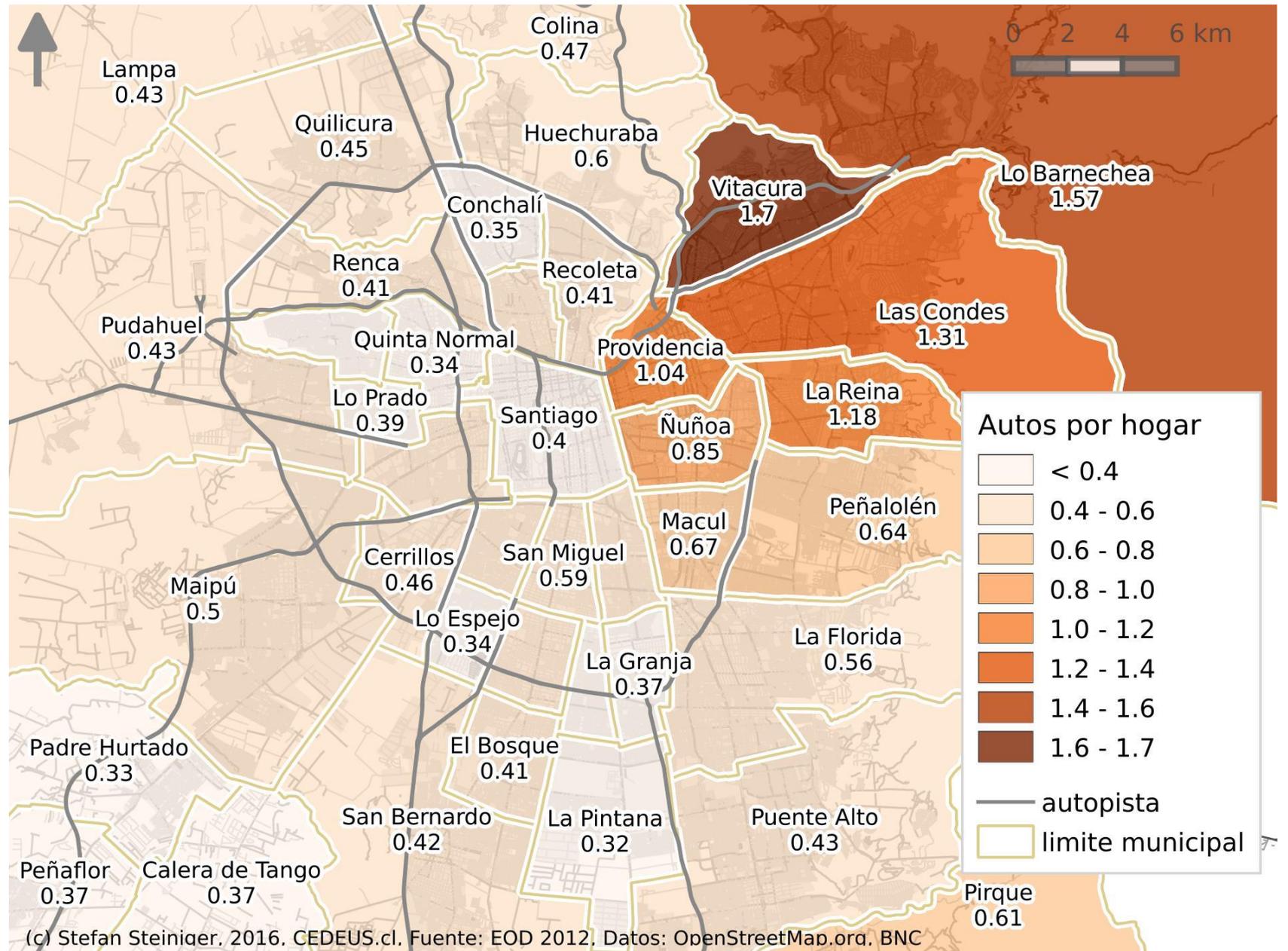
¿Cómo son nuestros sistemas de transporte?

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

¿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
<b>Punta Mañana</b> 7:00 - 9:00	2014	22,3	18,9
	2015	22,2	18,5
	2016	22,1	18,1
	<b>Variación</b>	<b>-0,7%</b>	<b>-4,4%</b>
<b>Punta Tarde</b> 17:30 - 19:30	2014	21,9	17,9
	2015	22,1	17,5
	2016	22,7	16,9
	<b>Variación</b>	<b>3,6%</b>	<b>-5,8%</b>

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/m<sup>2</sup>

## TRANSMILENIO BOGOTA

113 km. troncales

147 estaciones

12 líneas

48.000 pax/hr-sentido

2.200.000 pax/día

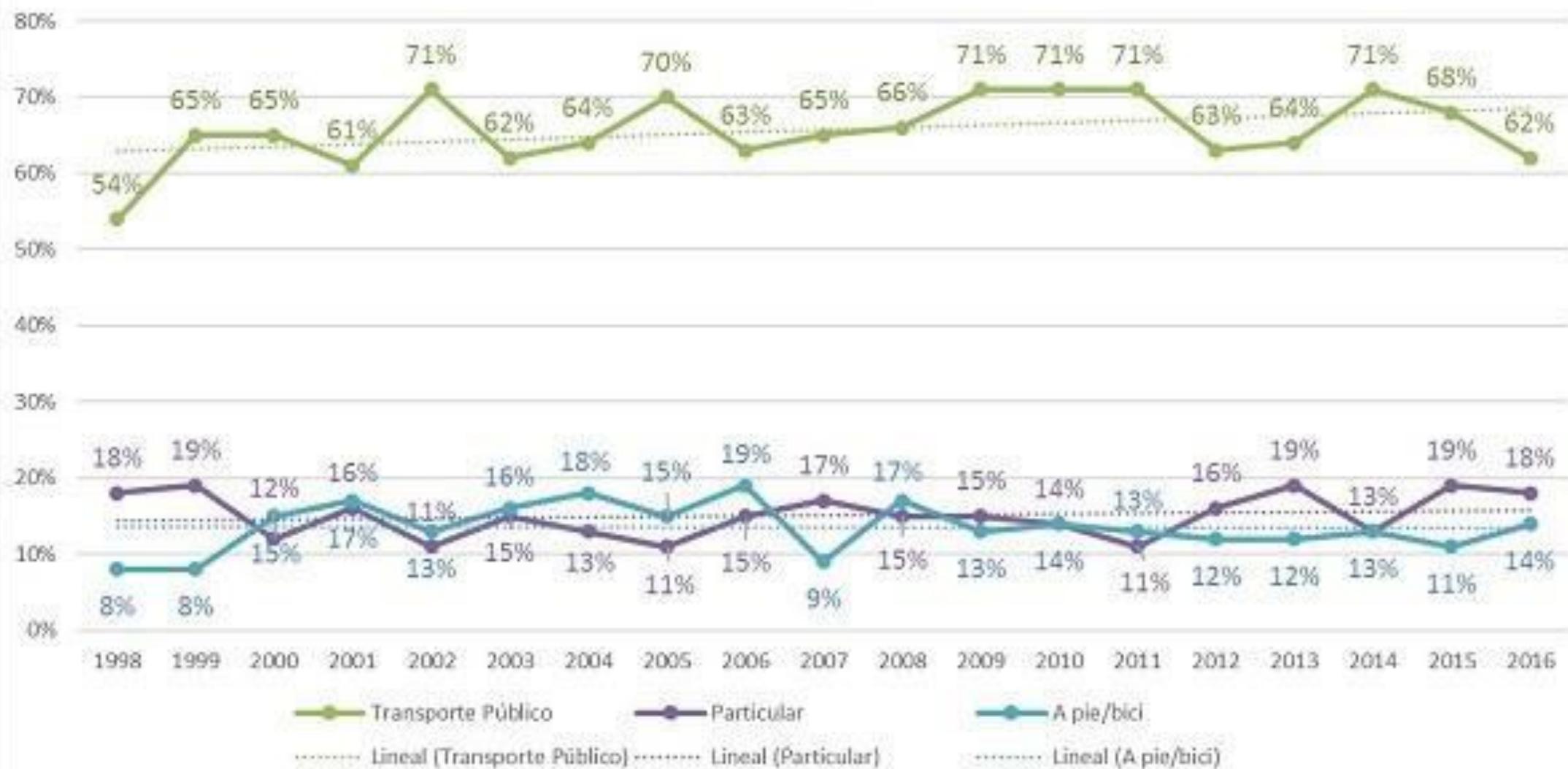
Velocidad 26,2 km/hr

Densidad máxima de aprox. 6 pax/m<sup>2</sup>

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.

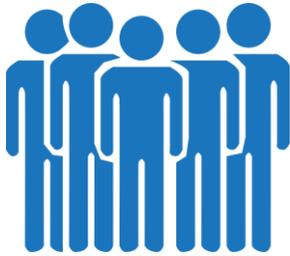
Eric Miller (2018) sostiene que los académicos debemos:

- (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.

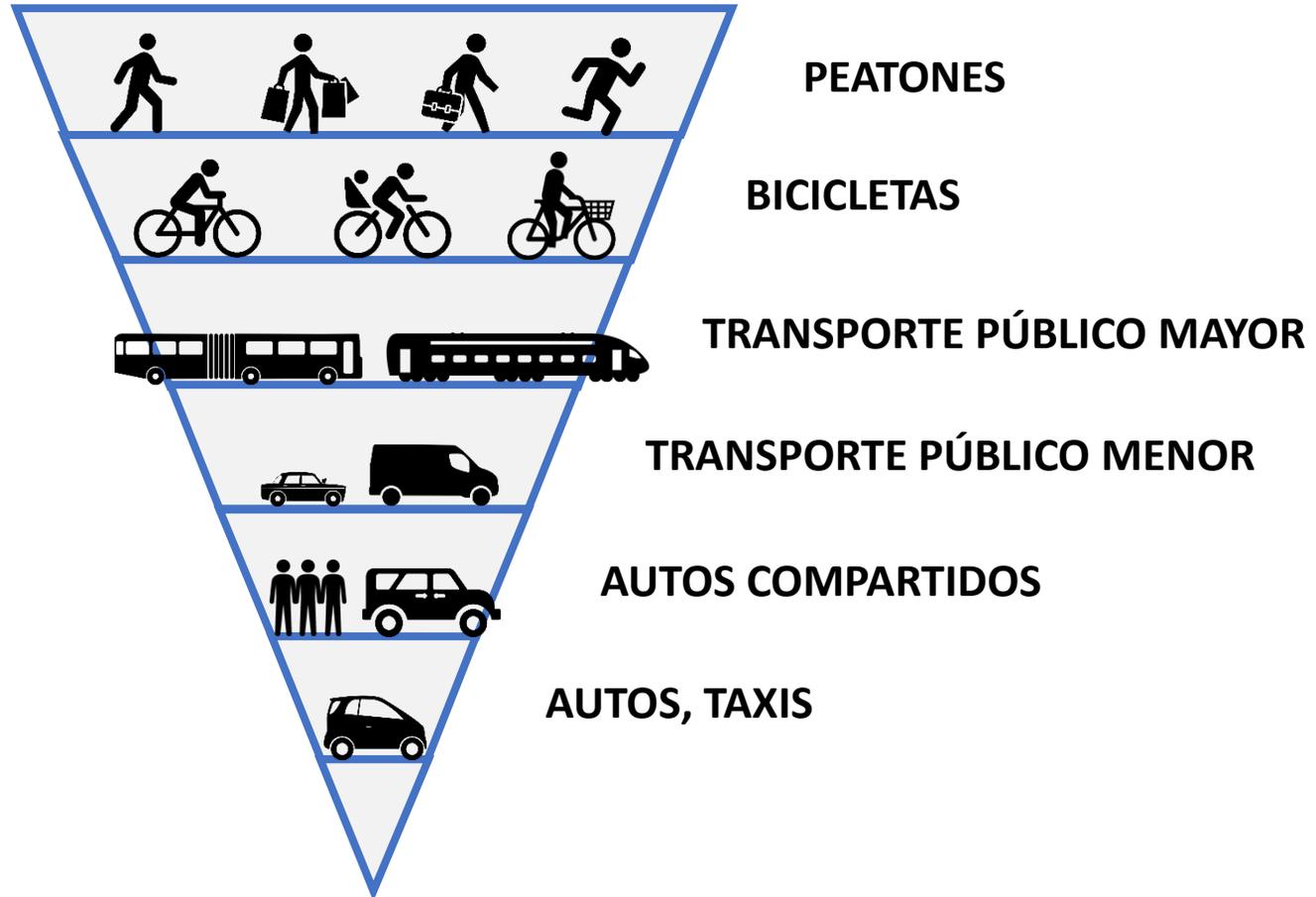
También se requiere coordinación entre **transporte y uso de suelo**.

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 tarifificar por congestión, o si se incorpora otras externalidades;
- lo último 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 tarifificar:

- 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](http://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.