



MOVILIDAD URBANA SUSTENTABLE: ALGUNOS PRINCIPIOS BÁSICOS Y SOLUCIONES

SUSTAINABLE URBAN MOBILITY: SOME BASIC PRINCIPLES AND SOLUTIONS

JUAN DE DIOS ORTÚZAR SALASⁱ

Fecha de Recepción: 24/10/2018 | Fecha de Aprobación: 04/12/2018

Resumen: En este trabajo consideramos un importante tema de nuestro tiempo: cómo lograr que nuestras ciudades se desarrollen armoniosamente y no terminen transformándose en un verdadero calvario para sus habitantes. Para esto, comenzamos por definir sustentabilidad y qué elementos deben estar asociados a un desarrollo urbano sustentable. Posteriormente, nos introducimos en el campo de la movilidad urbana, concentrando la atención en uno de sus mayores desafíos: la congestión vehicular. Hacemos un esfuerzo por caracterizarla en forma adecuada, para facilitar la comprensión de sus posibles soluciones, recurriendo a herramientas básicas de la ingeniería de tránsito que permiten demostrar que las soluciones de sentido común no funcionan (como en muchas otras áreas) y, en particular, que el problema es imposible de resolver mediante la construcción de infraestructura vial, exclusivamente. En este ámbito, presentamos además dos paradojas (que sirven para reforzar la idea que las soluciones “obvias” no funcionan adecuadamente) y entregamos información que apoya la idea que el peor enemigo de la sustentabilidad urbana es el uso indiscriminado del auto particular en escenarios congestionados. Luego, antes de entrar a discutir posibles soluciones al problema, hacemos ver que como el desarrollo y movilidad urbanas son problemas retorcidos en complejidad organizada, no tienen soluciones satisfactorias. Finalmente, proponemos la solución más consensuada entre especialistas: un enfoque de garrote y zanahoria; el primero una política – como la tarificación vial – que tase el uso del auto en períodos y lugares congestionados de la ciudad, y la zanahoria, la provisión de un adecuado y digno sistema de transporte público. Argumentamos, para terminar, que esto no parece ser posible sin la presencia de un líder político positivo que esté dispuesto a jugarse por estrategias de más largo plazo que entusiasmen a la ciudadanía.

Palabras Clave:

Movilidad urbana sustentable.

Congestión.

Políticas de transporte.

ⁱ Ingeniero Civil, M.Sc., Ph.D. Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Instituto en Sistemas Complejos de Ingeniería, Centro de Excelencia BRT+, Pontificia Universidad Católica de Chile

Abstract: This paper is about how to achieve a harmonious development in our cities and not end up transforming into a suffering for its inhabitants. For this, we begin by defining sustainability concept and what elements should be associated with sustainable urban development. Then, we concentrate in the vehicular congestion concept which one of the biggest challenges in the field of urban mobility. We characterize congestion in order to understand what the possible solutions are. Some basic tools of traffic engineering and two paradoxes (Braess and Downs-Thomson-Mogridge paradoxes) were posed to demonstrate that common sense solutions do not work; particularly those policies focused exclusively into increasing road infrastructure will not resolve this problem and reinforced the idea that, in congested scenarios, the worst enemy of urban sustainability is the indiscriminate use of the private car. Then, we suggest that urban development and mobility should be treated as twisted problems in organized complexity, so they do not have satisfactory solutions. Finally, we propose a stick and carrot approach, which is the most consensual solution among specialists: the first is a policy - such as road pricing - that charges for car use in congested periods and places of the city. The carrot policy, refers to the provision of an adequate and dignified public transport system. Finally, we argue that this does not seem to be possible without the presence of a positive political leader who is willing to play longer-term strategies.

Keywords:

Sustainable mobility.

Congestion.

Transport policies.

Cómo Definir Sustentabilidad²

El término *desarrollo sustentable* fue introducido por la International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (1980), en un trabajo comisionado por el *Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas* (UNEP) y el *Fondo Mundial para la Naturaleza* (WWF). La estrategia de conservación mundial propuesta, fue posteriormente popularizada en el famoso Informe Brundtlandt (1987), que apelaba a nuestro futuro común en el planeta. En 1992, a través de la *Agenda 21* de Naciones Unidas, se desarrolló un plan de acción a ser adoptado universal, nacional y localmente. Este establecía, como objetivo principal, mejorar la calidad social, económica y ambiental de los asentamientos humanos, y el entorno de vida y trabajo de todas las personas, especialmente los pobres urbanos y rurales (ver De Lisio, 1999).

La *sustentabilidad* fue entendida, a grandes rasgos, como una estrategia que promueve el desarrollo manteniendo la armonía entre humanidad y naturaleza, en base a tres aspectos: la *inclusión social*, el *desarrollo económico* y el *balance medioambiental*. Esto dió lugar al concepto de los *tres pilares* de la sustentabilidad; la Figura 1 presenta uno de los primeros diagramas utilizados para examinar la sustentabilidad urbana (Informe Brutland, 1987).

² La discusión que sigue se basa en antecedentes discutidos más profundamente en el libro *Sustentabilidad a Escala de Barrio. Re-visitando el programa "Quiero mi Barrio"* (CEDEUS-MINVU, 2018).



Figura 1: Los tres pilares de la sustentabilidad

Sin embargo, más recientemente se ha sostenido que estos pilares excluyen otras dimensiones importantes, como la *cultural-estética*, *político-institucional* y hasta *religioso-espiritual* (Littig y Griessler, 2005). Además, otros autores han integrado a la *gobernanza* (Figura 2) como un cuarto pilar (Burford *et al.*, 2013), basándose en la comprensión de las instituciones, sus mecanismos institucionales, sociales, políticos, jurídicos y normativos (Spangenberg *et al.*, 2002). La Figura 2 muestra un diagrama en que se ha integrado esta componente política, entendiendo que era vital el poder “hacer” y no sólo “aspirar”.

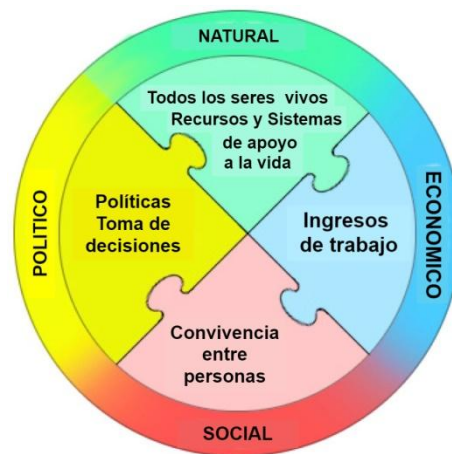


Figura 2: Los cuatro pilares de la sustentabilidad

Hoy en día, se trabaja con diagramas bastante más complejos (ver Figura 3), que incluso permiten verificar los distintos grados de avance o cumplimiento de cada elemento en diversas urbes (Wilson, 2015). En esta línea, el *Centro de Desarrollo Urbano Sustentable* en Chile, recientemente acordó definir a la sustentabilidad como... “un proceso a través del cual las comunidades presentes y futuras florecen armoniosamente” (CEDEUS, 2017). Tres aspectos a destacar de esta definición son: (i) al hacer referencia a

‘comunidades’ se incluye realidades urbanas en un sentido colectivo y no necesariamente funcional; (ii) ‘florecer’ es una forma de indicar avance o mejora más allá del sentido lineal del progreso, incluyendo conceptos como bienestar y belleza; (iii) se describe el proceso como ‘armonioso’ en relación a conexión y equidad.



Figura 3: Círculos de sustentabilidad

Definición y Costos de Congestión

Un informe reciente del *Texas A&M Transportation Institute* (Schrank *et al.*, 2015), señala que si se consideran las 70 principales ciudades de EE.UU.:

- en 20 años la población creció 10% y los kilómetros de vías urbanas en más de 15%; pero el valor de los tiempos perdidos se triplicó a 80 mil millones de dólares al año;
- los conductores gastaron 60 horas al año en atascos (el doble que 10 años antes);
- en promedio, el horario congestionado creció en 50% y el tiempo de viaje en hora punta cerca de 10%.

Como todo esto ha sucedido en el país con mayor inversión en autopistas urbanas en el mundo, parece razonable concluir que la solución no va por ese lado. Además, el aumento y extensión horaria de los períodos congestionados ha llegado a producir efectos nocivos adicionales como la *furia vial* (https://en.wikipedia.org/wiki/Road_rage) y el aumento de conductas poco seguras al conducir (incluso en ciudades tan civilizadas y con habitantes tan flemáticos como Londres).

Algunos principios básicos para entender el problema

La Ingeniería de Tránsito (IT) puede ayudar a entender mejor el problema de la congestión vial. Para esto, comencemos por definir al *grado de saturación* (x) de una vía cualquiera, como la razón entre el *flujo* de vehículos (q) que circula por ella y su capacidad, que está dada por el *flujo de saturación* (s). De esta forma,

se acepta comúnmente que la congestión es evidente si $x > 0,7$ y se reconoce que el problema es caótico (como en algunas ciudades de EE.UU. y Asia), a partir de un grado de saturación de 0,9.

Ahora bien, 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 (esto es, su *costo medio* o *privado*) y desconoce el efecto sobre los demás viajeros (ver Figura 4), que constituye un *costo social* o *marginal*; vale decir, cada vehículo que circula en un flujo congestionado, infringe un tiempo (costo) adicional a los restantes vehículos circulantes.

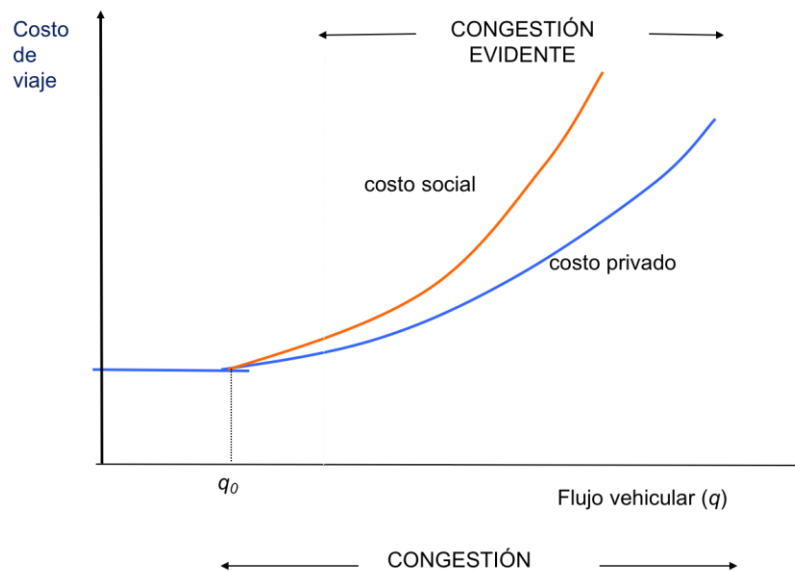


Figura 4: Costos privado y social de la congestión

Pero, además del tiempo, los viajes en distintos tipos de vehículos tienen asociados costos de operación y externalidades adicionales al costo social ya mencionado. Por ejemplo, Rizzi y de la Maza (2017) recientemente calcularon los costos marginales externos de viajar en auto y bus (considerando congestión, contaminación y accidentes) en Santiago de Chile, llegando a los siguientes valores:

Costo	Autos (Gasolina)	Autos (Diesel)	Buses
US\$/km en período punta	0,51	0,53	1,80
US\$/pasajero-km en período punta	0,41	0,42	0,04
US\$/km en período fuera de punta	0,15	0,16	0,78
US\$/pasajero-km en período fuera de punta	0,12	0,13	0,05

Estas cifras permiten constatar que, en el período punta, el costo externo de circular en automóvil es más de 10 veces mayor, por pasajero-kilómetro, que su equivalente al circular en bus. En el horario fuera de punta, con menor congestión y una tasa de ocupación más baja en los buses, esta diferencia se reduce a 2,5 veces.

Por otro lado, como el flujo vehicular se compone de autos, buses y camiones, para trabajar con estos distintos tipos de vehículos, en IT se utiliza el concepto de *vehículo equivalente* (*v.eq.*, conocido en inglés como *passenger car units*, o *pcu*, Kimber et al., 1985), tal que:

- un auto circulando derecho, se considera 1 *v.eq.* y transporta, en Santiago de Chile, aproximadamente 1,25 pasajeros en hora punta (Ampt y Ortúzar, 2004);
- un bus urbano es igual a 2,5 *v.eq.* y transporta, en esta misma ciudad, cerca de 40 pasajeros en hora punta;

Esto permite concluir que un bus es alrededor de 12 veces más eficiente que un auto en términos de congestión (esto es, en cuanto a uso del escaso espacio vial), ver Figura 5.

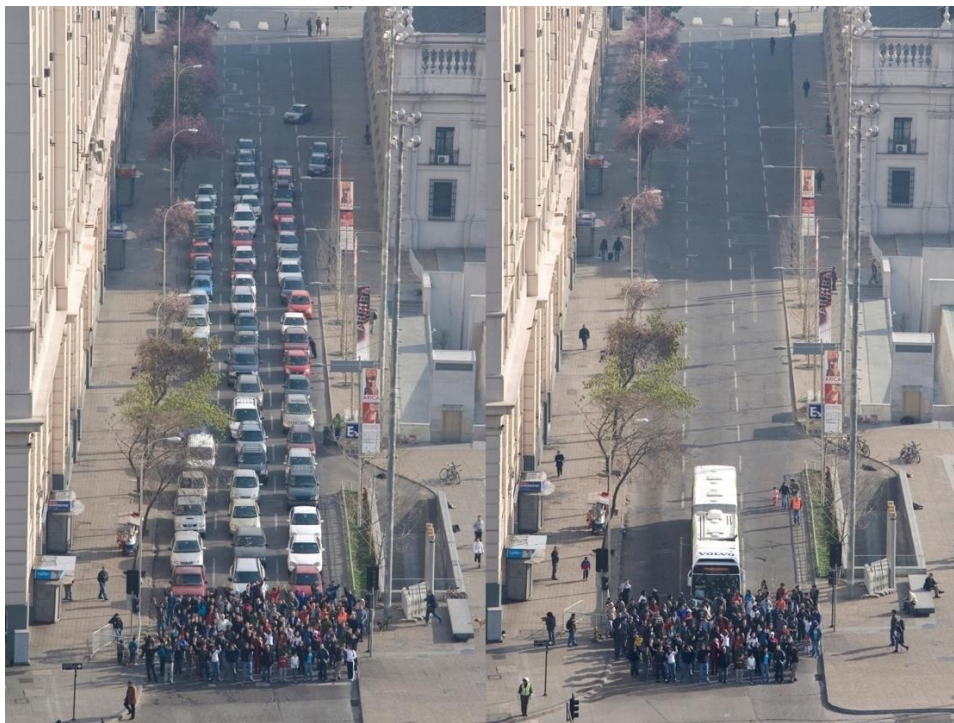


Figura 5: Eficiencia de bus y auto en términos de uso de espacio vial

Ahora bien, en vías urbanas la capacidad está determinada por las intersecciones controladas por semáforo; en cada arco de acceso a ellas, se cumple la siguiente ecuación:

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

donde q y s ya fueron definidas, y λ es el tiempo de verde efectivo del arco considerado.

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

- reemplazar los semáforos por pasos a desnivel³, en cuyo caso $\lambda=1$;
- dar más capacidad al acceso, aumentando su flujo de saturación s ; esta es la arquetípica solución del *hombre de la calle* o *falacia del sentido común* (Harding, 2014), que – desgraciadamente – es inadecuada pues sólo funciona en el corto plazo, como se comentó en la introducción (Duranton y Turner, 2011);
- reducir el flujo vehicular q esto es, lograr que algunos usuarios de auto cambien de hora, ruta o modo (esto se conoce como *gestionar la demanda*).

Más adelante volveremos a este tema, al analizar las posibles soluciones al problema de congestión en ciudades.

Algunas Paradojas en Ingeniería de Transporte

Paradoja de Braess

Originalmente publicada en alemán en 1968, esta paradoja (Braess *et al.*, 2005) ha sido objeto de extenso análisis por varias décadas. Para ejemplificarla en forma sencilla, consideremos la sencilla red que se muestra en la Figura 6. Esta tiene, en la situación inicial, sólo cuatro arcos para viajar entre el origen **1** y el destino **4**. Los arcos en sentido horizontal (1-3 y 2-4), tienen un costo igual a $50 + f$ (en que f es el flujo circulante) y los arcos en sentido diagonal ascendente, 1-2 y 3-4, tienen un costo igual a $10f$.

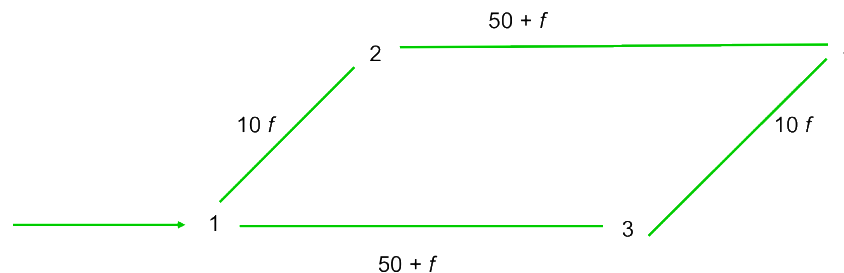


Figura 6: Red simplificada para ejemplo de Paradoja de Braess

Si un flujo total de seis vehículos quisiera viajar entre **1** y **4**, es fácil ver que el óptimo en la situación inicial se consigue cuando tres de ellos usan la ruta 1-2-4 y los otros tres la ruta alternativa (1-3-4), y que – en ese caso – el costo que experimentarían cada vehículo sería el mismo e igual a 83 ($50 + 3 + 30$).

Ahora, imaginemos que la autoridad considera que este costo es muy alto y decide construir nueva infraestructura para mejorar la situación; por ejemplo, supongamos que se agrega un enlace nuevo, entre los nodos **2** y **3**, con un costo bastante menor a los anteriores ($10 + f$). Así, en la situación con proyecto habría tres rutas: las dos anteriores: 1-2-4 y 1-3-4 (con costo igual a $50 + 11f$) y la nueva ruta 1-2-3-4 (con costo igual a $10 + 21f$).

Es fácil verificar que en esta nueva situación, el equilibrio espontáneo (óptimo individual) se produce cuando exactamente dos vehículos eligen cada ruta; en cualquier otro caso, el costo de algunos sería mayor que el de otros. Lo paradójico, sin embargo, es que en esa situación el costo experimentado por cada

³ No obstante, la ciudad de Caracas tenía en 1976 los peores atascos de América Latina, a pesar de que su alcalde había reemplazado todos los semáforos en cruces de avenidas, por pasos a desnivel.

vehículo sería igual a 92 (1: 40 + 50 + 2; 2: 40 + 12 + 40 y 3: 50 + 2 + 40), esto es, mayor que el anterior. De hecho, la solución de óptimo social o colectivo, sólo se puede alcanzar si nadie utiliza el nuevo enlace (lo que no es sencillo, ya que éste es más barato que los anteriores).

Así, en este caso, añadir un enlace incluso mejor que los existentes llevaría a una solución que empeoraría el tiempo de todos los usuarios, si cada uno elige la ruta más conveniente.

Paradoja de Downs-Thomson-Mogridge

Para ejemplificar esta famosa paradoja (Downs, 1962; Mogridge *et al.*, 1987; Thomson, 1977) recurriremos a la Figura 7. En ésta se representa el equilibrio en una situación ficticia en que compiten dos modos, auto y bus, por transportar una cantidad fija de usuarios Q entre dos puntos. El costo de viajar en auto, de derecha a izquierda, muestra la típica curva de congestión que habíamos discutido en la Figura 4. Sin embargo, el bus es un modo que tiene *economías de densidad*; esto es, el costo a cobrar a cada pasajero transportado – para un servicio dado (flota de buses operando con una cierta frecuencia) – debiera ser menor en la medida que aumenta el número de usuarios; este costo se muestra de izquierda a derecha.

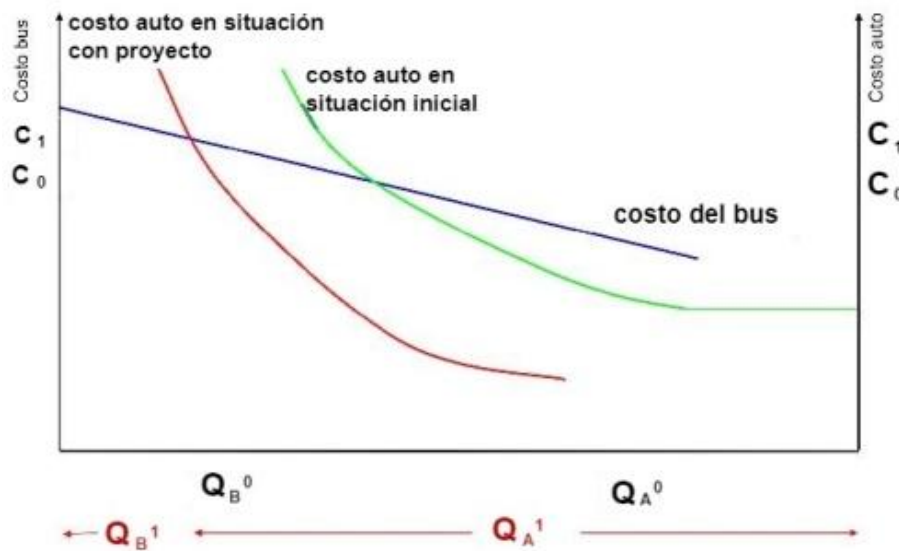


Figura 7: Paradoja de Down-Thomson-Mogridge

De esta forma, el equilibrio inicial se produce en un punto intermedio – cuando los costos se igualan en C_0 – donde la cantidad de usuarios que viaja en auto es igual a Q_A^0 y la de usuarios que viaja en bus es igual a $Q_B^0 = Q - Q_A^0$.

Supongamos, nuevamente, que la autoridad considera muy elevado el costo C_0 y, por lo tanto, decide mejorar la infraestructura vial. Para esto, la vía por donde circulan los autos se lleva a un estándar superior (por ejemplo, menos curvas y semáforos) y con mayor número de pistas; esto implica no sólo un menor costo inicial, sino que posibilita que la congestión se demore más en hacerse evidente.

Como se muestra en la Figura 7, en esta nueva situación, con proyecto, el equilibrio implica mayor cantidad de usuarios de auto (Q_A^1), menos usuarios de bus (Q_B^1) y un costo de equilibrio C_1 que es superior al costo C_0 de la situación inicial. Es importante destacar que esta paradoja se encuentra frecuentemente en la práctica, pero prácticamente no existe en ciudades altamente congestionadas (Basso *et al.*, 2017).

El Círculo Vicioso del Transporte Público

La Figura 8 ilustra la conocida representación de este problema (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 8). Como se puede ver, en la medida que aumenta la población y el nivel de vida de una sociedad, varios fenómenos se producen conjuntamente: (i) aumentan los precios de los terrenos en el centro de las ciudades y la gente busca localizarse en la periferia; (ii) esto es reforzado por el natural crecimiento de la tasa de motorización debido al mayor nivel de vida, en que el auto hace más fácil localizarse en la periferia; (iii) finalmente, la contaminación también suele ser menor en la periferia, lo que produce un incentivo adicional a migrar desde el centro para los sectores más acomodados.

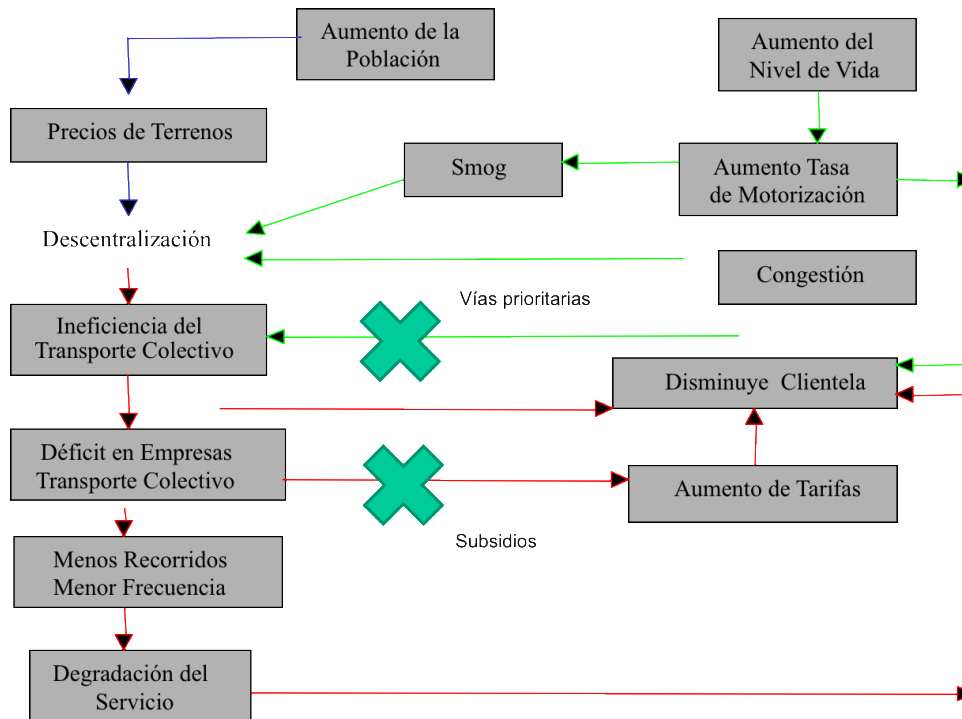


Figura 8: Círculo vicioso del transporte público

Por otro lado, este mayor uso del auto particular crea mayor congestión en la ciudad y esto afecta a los servicios de transporte público de superficie, que también se hacen menos eficientes en la medida que más personas vivan en forma disgregada en la periferia. De esta forma, el proceso de suburbanización, unido a la mayor congestión, implican una fuerte reducción de la eficiencia del transporte público. Esto hace comparativamente más atractivo al automóvil, lo que hace decaer el número de usuarios de buses, llevando a un déficit de las empresas operadoras del sistema.

Finalmente, para combatir el déficit, las empresas de buses tienden a reducir sus frecuencias, eliminar servicios poco utilizados y/o aumentar las tarifas. Desgraciadamente, todas estas medidas llevan a que más usuarios se vean tentados a cambiarse de modo, con lo que el círculo vicioso sigue creciendo y el sistema de buses continúa degradándose.

Para romper este círculo vicioso (como se indica en la Figura 8), la autoridad puede tratar de aislar los buses (para que no sean afectados por la creciente congestión), dedicándoles pistas exclusivas o, mejor aún, construyendo corredores de buses tendientes a lograr un sistema tipo *bus rapid transit* (BRT). También

puede otorgar subsidios, para proteger aquellos sectores en que la frecuencia debería bajar mucho o en que no existirían servicios si sólo operara el mercado, y también para evitar que los usuarios de menores ingresos (usualmente cautivos del transporte público) no deban gastar un porcentaje demasiado alto de sus ingresos en movilizarse. Desgraciadamente, el subsidio puede crecer mucho si no se es cuidadoso.

Cómo Resolver el Problema de Congestión en Ciudades

Existe un cierto consenso entre especialistas, que el desafío de la *sustentabilidad urbana*, desde el punto de vista de la movilidad, tiene tres componentes principales:

- una excesiva dependencia del automóvil particular;
- un sobre consumo de suelo (muchas veces de gran calidad agrícola), y
- una huella ecológica demasiado alta.

En este sentido, hace más de 55 años Jacobs (1961) sostenía que las ciudades eran *problemas en complejidad organizada*; una década después, Rittel y Webber (1973) subían la apuesta al argumentar que, en urbanismo, los investigadores debían enfrentar *problemas retorcidos* a diferencia de *problemas domables* como, por ejemplo, en física. Así, los problemas retorcidos se caracterizan por:

- ser difíciles de resolver, sin soluciones claras o absolutas y con historial de fracasos;
- ser socialmente complejos, interdependientes y con múltiples causas;
- requerir soluciones que pueden llevar a consecuencias inesperadas;
- involucrar cambios de comportamiento y estar entre fronteras organizacionales.

Las ciudades siguen siendo hoy *problemas retorcidos en complejidad organizada*. Pero aunque no tienen soluciones óptimas, como hemos logrado desarrollar crecientes habilidades matemáticas y analíticas, y tenemos cada vez mayor poder de cómputo, es posible modelar su operación con mayor precisión, permitiendo vislumbrar posibles mejoras. En este sentido, aún cuando por definición todos los modelos son simplificaciones, ciertamente incompletas y, por lo tanto, de alguna manera imprecisos, muchos son útiles y podemos aplicarlos con ventajas (Ortúzar y Willumsen, 2011).

Miller (2018) sostiene que los académicos especialistas en estos temas debemos:

- salir al mundo, trabajar en problemas reales, debatir y ensuciarnos las manos;
- popularizar la ciencia, y hacer saber al público lo que sabemos;
- enmarcar nuestro mensaje en términos del riesgo que conlleva no hacer nada.

Aunque esto no es tarea sencilla, es sin duda muy importante. Para peor, nuestro mensaje suele requerir propuestas que exigen a las personas a optar por formas de viajar que no son necesariamente las deseadas individualmente. Esto ha abierto la puerta a *opinólogos* de gran convocatoria y relativamente escaso conocimiento, que presentan a la opinión pública miradas simplistas de gran aceptación. Además, usualmente utilizan estadísticas mañosamente interpretadas y formas de debatir cuestionables⁴.

Problemas técnicos, enfoques y soluciones

Un problema serio y poco mencionado en la literatura, es cómo se evalúan los proyectos de transporte y movilidad en la mayoría de los países del mundo y, en particular, en nuestra América Latina. La evaluación social de proyectos – herramienta clave para definir qué proyectos debieran llevarse a cabo (por tener una adecuada rentabilidad social) – incluye actualmente como beneficios sólo a los ahorros de tiempo (90% o más de los beneficios) y a los ahorros en costos de operación. De esta forma, un proyecto consistente en

⁴ En este sentido, vale la pena leer la notable columna del sociólogo Domingo Moreno, criticando una columna en un diario santiaguino, que atacaba a quienes proponemos la bicicleta como un modo sustentable y digno de apoyo gubernamental (<https://medium.com/@domingomoreno/las-falacias-de-poduje-8f8d7d60ecca>).

agregar o mejorar la infraestructura vial puede resultar altamente rentable, ya que produce ahorros en ambos sentidos. Esto es inadecuado por al menos dos razones: primero y muy importante, porque esos ahorros suelen ser sólo de corto plazo, ya que la demanda inducida puede consumir gran parte de la capacidad vial añadida en plazos muy breves (3-5 años).

Pero también es grave que en la mayoría de los países no se consideren otros beneficios de gran importancia, como el ahorro de vidas por la disminución de accidentes (y también el ahorro asociado a la menor ocurrencia de accidentes graves no fatales), la disminución de la contaminación, el ruido y otros temas – cada vez más serios en muchos de nuestros sistemas – como el hacinamiento, la falta de confiabilidad de los servicios y, muy importante, la calidad del entorno urbano.

Por otro lado, al discutir el tema de sustentabilidad urbana en toda su complejidad, no puede quedar fuera el crecimiento de las ciudades. En este sentido Robert Cervero y colegas vienen planteando, hace décadas, la importancia de las, ahora, cinco **D** (Cervero y Kockelman, 1997; Campoli, 2012):

- *Densidad*: su aumento es positivo ya que tiende a disminuir el uso indiscriminado del auto (se ha argumentado que se necesitan 37,5 unidades habitacionales/ha para sustentar un buen sistema de transporte público);
- *Diversidad*: no sólo residencial, sino que de comercio, empleos, etc.;
- *Diseño*: posiblemente la más compleja debido a sus muchos significados y niveles (espacios públicos bien concebidos y variados), diseño detallado (calles para peatones, estacionamientos en partes traseras), diseño amigable (por ejemplo, manzanas cortas con más intersecciones favorecen la facilidad de caminar, o *walkability*);
- (accesibilidad a) *Destinos*: cuántos lugares se pueden alcanzar en 10-15 min mediante distintos modos de transporte; en este sentido, la bicicleta es actualmente el modo indiscutido para viajes de hasta 7 km de distancia;
- (gestión de) *Demanda*: medidas tales como estacionamientos más caros y limitados, tarificación vial.

Finalmente, tampoco se puede olvidar el uso de suelo y su indisoluble relación con la movilidad. Existe bastante acuerdo entre especialistas que evitar la expansión urbana descontrolada (manteniendo límites urbanos, por ejemplo, usando metas tipo 15-25 unidades habitacionales/ha) es una buena idea; que es necesario crear centros accesibles mediante transporte público o *transporte activo* (bicicleta y caminata); pensar en servicios como trenes de cercanías; evitar autopistas urbanas; adquirir terrenos y aplicar medidas de *desarrollo orientado al transporte público* (<http://www.tod.org/>) y, cada vez más, aplicar enfoques del tipo *calles completas* (Smart Growth America, 2015). También existe un gran desafío en términos de generar subcentralidades urbanas, que eviten viajes largos para realizar actividades como trámites gubernamentales o institucionales, salud, comercio, educación, etc., favoreciendo el transporte activo. Finalmente, sigue siendo importante fomentar estrategias de teletrabajo y jornadas flexibles, aunque estas iniciativas tienen sus propios problemas y dificultades.

Ahora bien, a pesar de todo lo anterior, es necesario reconocer que la congestión vehicular (debida fundamentalmente al uso del automóvil particular) no se puede eliminar. Lo que sí se puede intentar, es manejarla de forma que no supere niveles considerados razonables.

Como vimos, al discutir los principios básicos al principio, la única solución eficiente para enfrentar el problema de congestión en ciudades es *gestionar la demanda*; esto es, tratar de reducir el flujo de vehículos circulante en las calles. Se sabe, desde hace mucho tiempo, que aumentar la capacidad no conduce a una solución de largo plazo, como magistralmente lo demostró el famoso Informe Buchanan, *Traffic in Towns* (Ministry of Transport, 1963).

Para gestionar la demanda (esto es, básicamente reducir el flujo de autos), se han propuesto diversas medidas algunas de las cuales ya mencionamos; a continuación discutiremos sólo dos bastante directas: la *restricción vehicular* y la *tarificación por congestión* (tarificación vial).

Restricción vehicular

La restricción vehicular, por ejemplo los sistemas tipo *pico y placa* que se han implementado en varias ciudades latinoamericanas (y en otras partes del mundo), tiene el problema de ser relativamente eficaz sólo en el corto plazo (Cantillo y Ortúzar, 2014).

En efecto, si la autoridad restringe la circulación de automóviles cuya placa patente termina en uno o más dígitos cada día, lo que tiende a suceder es que para evitar ser restringidos, los hogares afectados adquieren otro automóvil en el mediano plazo, a menudo de peores características (más barato y antiguo) que el inicial. Para peor, este vehículo pasa a ser usado por otros miembros de la familia en los días que sí puede circular el original, aumentando la congestión (y la contaminación). De hecho, en ciudades con larga data de aplicación de esta medida, como Bogotá, no es raro encontrar que la oferta de autos usados en el periódico especifique como un atributo importante la placa patente del mismo (Figura 9).

Tarificación por congestión

De acuerdo a la teoría económica, un *bien público* congestionado debiera ser tarifado a costo marginal para lograr un uso óptimo del mismo. Esta es, claramente, la norma regulatoria que afecta a la mayoría de los servicios públicos, como agua potable, electricidad, teléfonos (e incluso servicios relacionados con lo que nos interesa, los viajes, como las tarifas de transporte aéreo) en la mayoría de los países; en efecto, todos estos servicios tienen una tarifa mayor en períodos de mayor consumo.

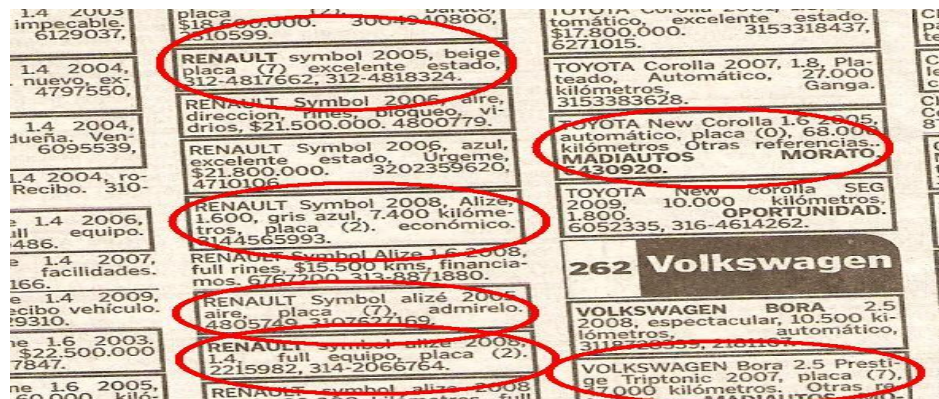


Figura 9: Oferta de vehículos en periódico colombiano

De esta forma, la propuesta de los especialistas ha sido – desde hace varios años – implementar una política de *garrote y zanahoria*. El *garrote* implica cobrar a los usuarios de auto el costo marginal (social) de circular, para que tomen decisiones de viaje (modo, hora y ruta) basadas en los costos reales del sistema; esta política, denominada *tarificación vial*, se ha implementado con mucho éxito en Singapur, algunos países nórdicos y, más recientemente, en Londres (https://en.wikipedia.org/wiki/Road_pricing).

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

¡Ambos elementos son clave para una estrategia sustentable!

¿Cómo implementar una política de tarificación vial en la práctica?

Al analizar la posible implementación de una política de tarificación por congestión, un primer problema de interés es: ¿cómo traducir el valor óptimo a una tarifa práctica (por ejemplo, la “más apropiada” a implementar)? La respuesta a esta pregunta depende de si se desea tarificar sólo por congestión, o si se considera incorporar otras externalidades; por ejemplo, incluir la reducción de la contaminación (además de la congestión) en los objetivos del sistema, es muy recomendable desde el punto de vista de su defensa ante la opinión pública (Hensher y Bliemer, 2014).

También existen problemas de aproximación, ya que 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 lo tanto, si se trabaja con cordones ficticios que rodeen el área a tarificar – como es usual en la práctica – y se permite que la tarifa sólo varíe en periodos discretos, se genera la necesidad de aproximar su valor: cómo hacerlo, es materia de estudio.

Notar, además, que la tarifa más adecuada también depende de cómo se defina el área a tarificar (Ortúzar *et al.*, 2018), ya que es bastante evidente que el problema de seleccionar el área y la tarifa más apropiadas, es uno solo. De hecho, los diseñadores han optado por soluciones simples en busca de aceptabilidad, a riesgo de perder la posibilidad de lograr mayores beneficios económicos.

Otro tema de fundamental importancia, es cómo asegurar la neutralidad fiscal del proyecto, ya que una de las objeciones más usuales a la idea de implementar esta política, es que se trataría de un impuesto más. 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 tarificación vial en ese país, bajo la condición que ésta se debía presentar en un marco legal que redujera el actual impuesto de circulación (*Road Licence*) en el equivalente a lo que se esperaba obtener por concepto de ingresos del proyecto.

Nos parece que esta podría ser una forma adecuada de conseguir los consensos necesarios para implementar un proyecto de esta naturaleza. Reducir el impuesto que se cobra por el derecho a circular (que no toma en cuenta consumo, hora o lugar), y/o el impuesto que se cobra a la gasolina o petróleo (que considera consumo, pero no la hora o lugar en que se consume) en la cantidad que se esperaba recaudar con la tarificación a costo marginal, es un enfoque inteligente que puede ayudar a acercarse al óptimo del sistema.

Para terminar, queremos señalar que todo lo discutido en esta sección es prácticamente letra muerta si no se cuenta con un líder que impulse estas ideas. Nuestras ciudades requieren mejores políticos (*political champions*), como ejemplarmente lo fueron Jaime Lerner en Curitiba, Ken Livingstone en Londres y Enrique Peñalosa en Bogotá; esto es, líderes positivos que escuchen, aprendan y luego conduzcan a la comunidad con decisión, utilizando toda la información disponible.

Por su parte, la ciudadanía necesita exigirle más a sus políticos; debemos pensar en nuestra descendencia. Desgraciadamente, es prácticamente inevitable que los políticos tiendan a estar centrados en el corto plazo. Por lo tanto, la única posibilidad es conseguir la instalación de instituciones que trasciendan, independientes de la agenda del gobierno de turno.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Margarita Greene y a Juan Carlos Muñoz por sus ideas y críticas constructivas al primer borrador de este documento. También al Instituto en Sistemas Complejos de Ingeniería (CONICYT: FB0816), al Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS (CONICYT/FONDAP/15110020) y al BRT+ Centre of Excellence (www.brt.cl) financiado por la Volvo Research and Educational Foundations, por el apoyo a mi labor de investigación en estos temas. Finalmente, agradezco los valiosos comentarios de dos revisores anónimos que ayudaron a clarificar la presentación.

Referencias

- Ampt, E.S. y Ortúzar, J. de D. (2004) On best practice in continuous large-scale mobility surveys. *Transport Reviews* **24**, 337-363.
- Basso, L.J., Silva, H.E. y Riquelme, I. (2017) Urban road congestion management: capacity investments and pricing policies. *13th International Conference of The Western Economic Association International*, 3-6 Junio, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Burford, G., Hoover, E., Velasco, I., Janoušková, S., Jimenez, A., Piggot, G., Podger, D. y Harder, M.K. (2013) Bringing the “missing pillar” into sustainable development goals: towards intersubjective values-based indicators sustainability. *Sustainability* **5**, 3035-3059.
- 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.
- Cantillo, V. y Ortúzar, J. de D. (2014) Restricting the use of cars by license plate numbers: a misguided urban transport policy. *Dyna* **81**, 75-82.
- CEDEUS (2017) Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (www.cedeus.cl), Santiago.
- CEDEUS-MINVU (2018) *Sustentabilidad a Escala de Barrio. Re-visitando el programa “Quiero mi Barrio”*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago.
- 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.
- De Lisio, A. (1999) Desarrollo sustentable: opciones y limitaciones para América Latina y el Caribe. *Revista Cuadernos del Cendes* **16**, 1-23.
- Downs, A. (1962) The law of peak-hour expressway congestion. *Traffic Quarterly* **16**, 393–409.
- Duranton, G. y Turner, M. (2011) The fundamental law of road congestion: evidence from the US. *American Economic Review* **101**, 2616-2652.
- Harding, T. (2014) *Common Sense Fallacy*. (<https://yandoo.wordpress.com/2014/12/28/common-sense-fallacy/>).
- Hensher, D.A. y Bliemer, M. (2014) What type of road pricing scheme might appeal to politicians? Viewpoints on the challenge in gaining the citizen and public servant vote by staging reform. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **61**, 227-237.
- Informe Brundtlandt (1987) *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, ONU, Washington, D.C.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (1980) *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. ONU, Gland, Suiza.
- Jacobs, J. (1961) *The Death and Life of Great American Cities*. Random House, Nueva York.
- Kimber, R.M, McDonald, M. y Hounsell, N. (1985) Passenger car units in saturation flows: concept, definition, derivation. *Transportation Research Part B: Methodological* **19**, 39-61.
- Littig, B. y Griessler, E. (2005) Social sustainability: a catchword between political pragmatism and social theory. *International Journal of Sustainable Development* **8**, 65-79.

Miller, E. (2018) Viewpoint: integrated urban modelling- past, present and future. *The Journal of Transport and Land Use* **11**, 387-399.

Ministry of Transport (1963) *Traffic in Towns: a study of the long term problems of traffic in urban areas*. Report of the Steering Group and Working Group appointed by the Minister of Transport, Reino Unido.

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., Bascuñán, R., Salata, A. y Rizzi, L.I (2018) Assessing the potential acceptability of road pricing in Santiago. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (en revision).

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011) *Modelling Transport*. John Wiley and 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.

Schrank, D., Eisele, B., Lomax, T. y Bak, J. (2015) *2015 Urban Mobility Scorecard*. The Texas A&M Transportation Institute, College Station, TX.

Smart Growth America (2015) *Safer Streets, Stronger Economies: Complete Street Project Outcomes from Across the Country*. Smart Growth America, Washington, D.C.

Spangenberg, J.H., Omann, I. y Hinterberger, F. (2002) Sustainable growth criteria. minimum benchmarks and scenarios for employment and the environment. *Ecological Economics* **42**, 429- 443.

Thomson, J.M. (1977) *Great Cities and Their Traffic*. Gollancz, Peregrine Edition, Londres.

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