



25 de mayo 2023

Programa de capacitación para autoridades locales: Estrategias de mejora de la logística urbana

SESIÓN 5

Inteligencia colectiva para la logística urbana

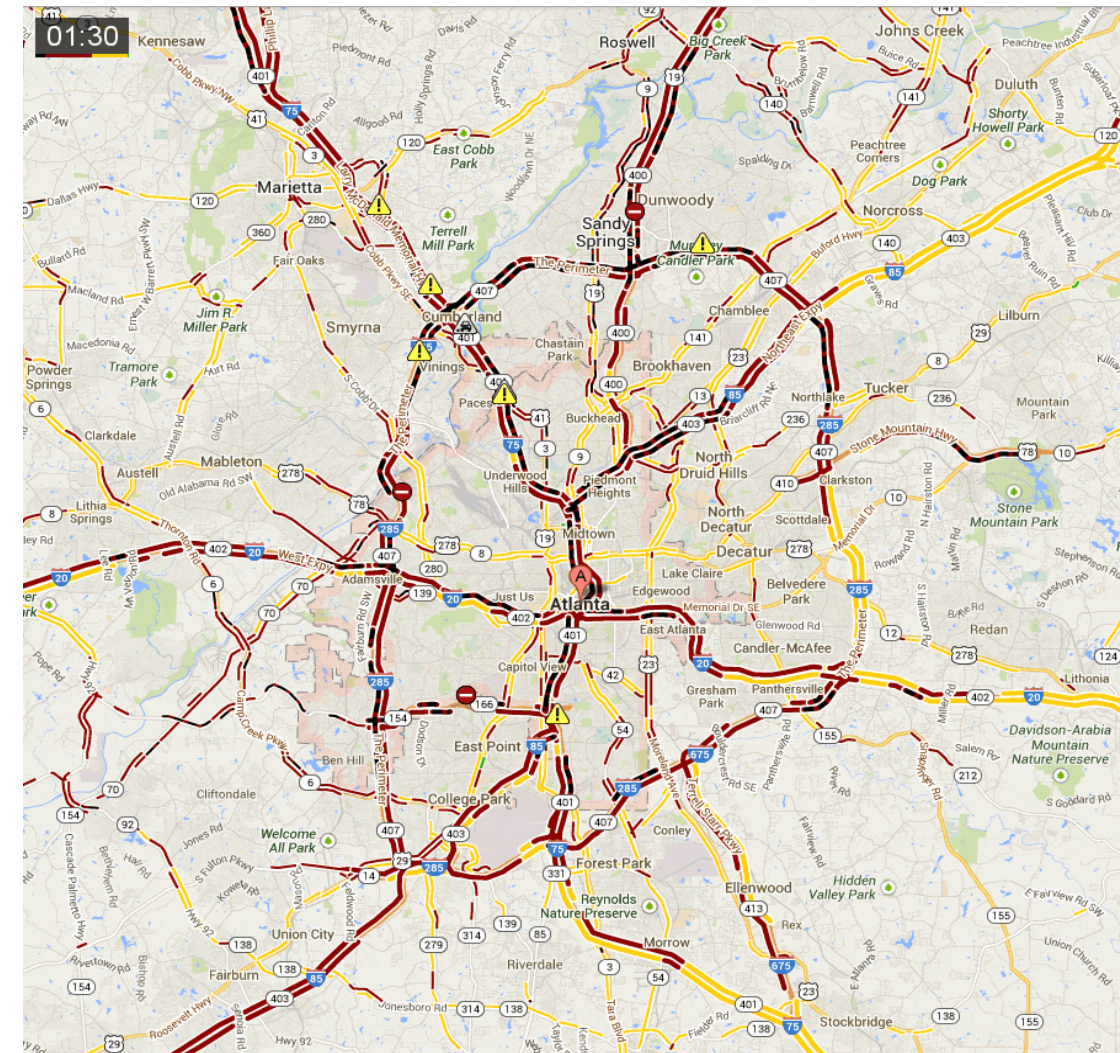
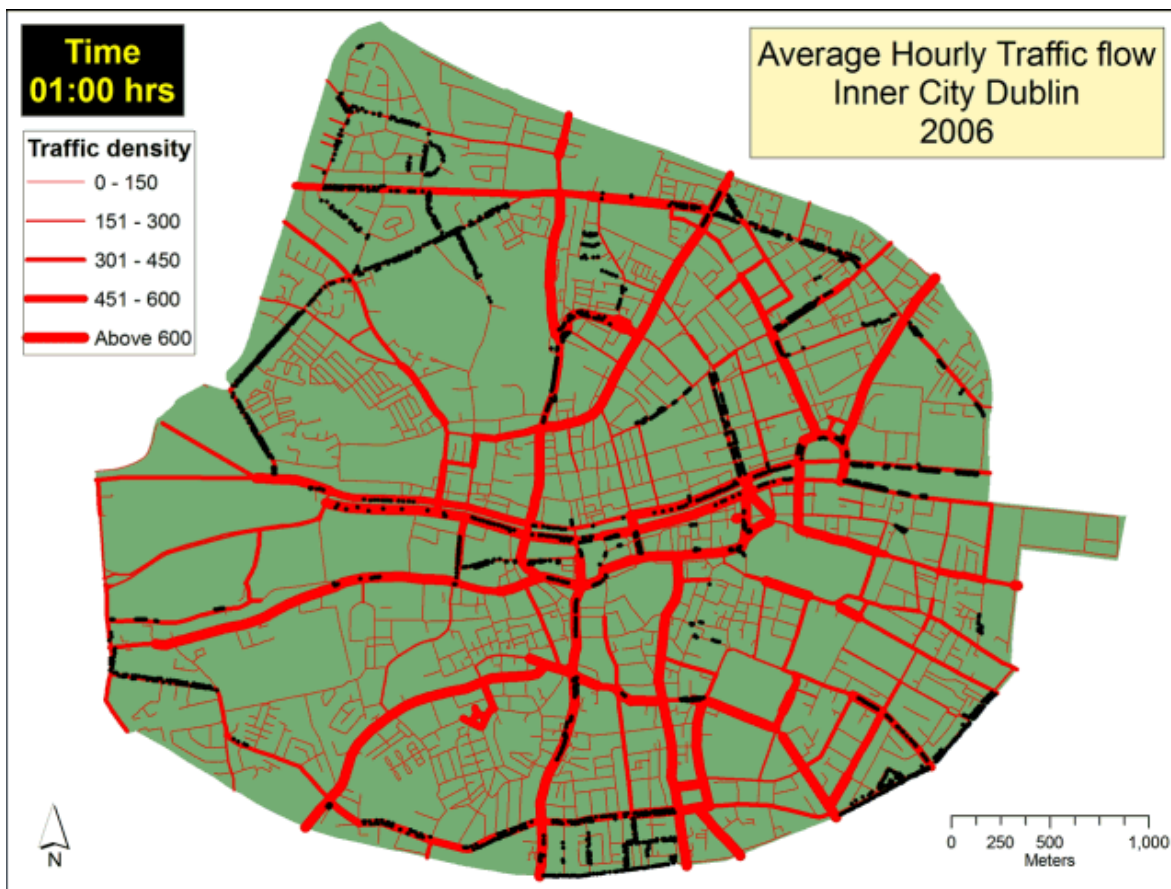
Agenda

1. Complejidad urbana
2. Inteligencia colectiva en logística
3. Paradoja de Braess

COMPLEJIDAD

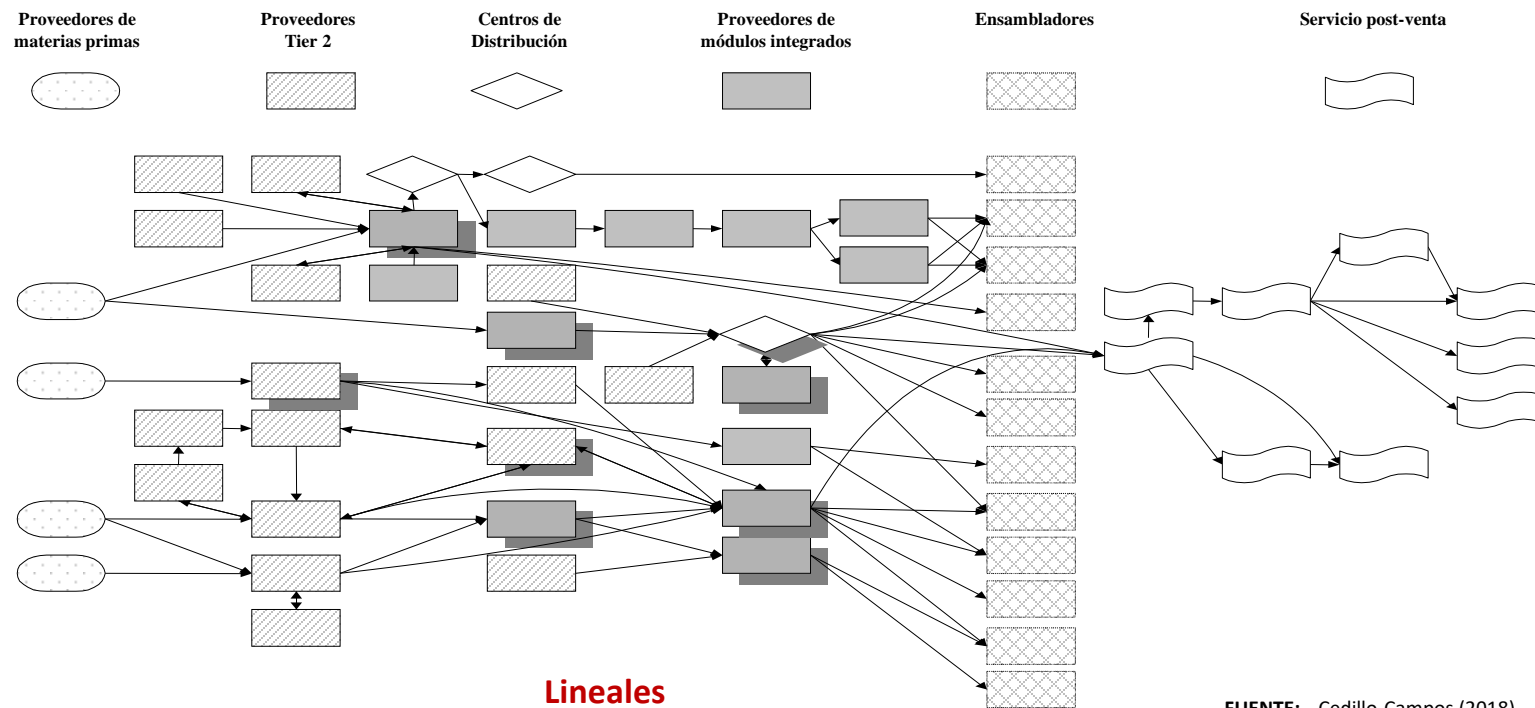
urbana

Complejidad urbana



Complejidad urbana

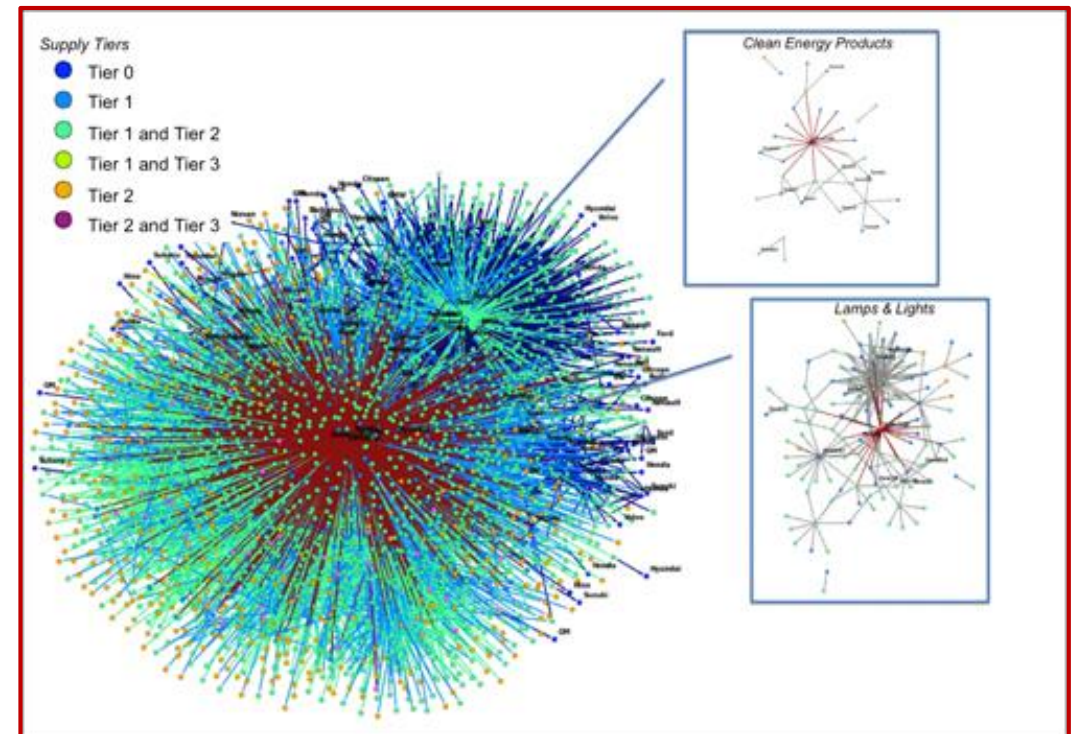
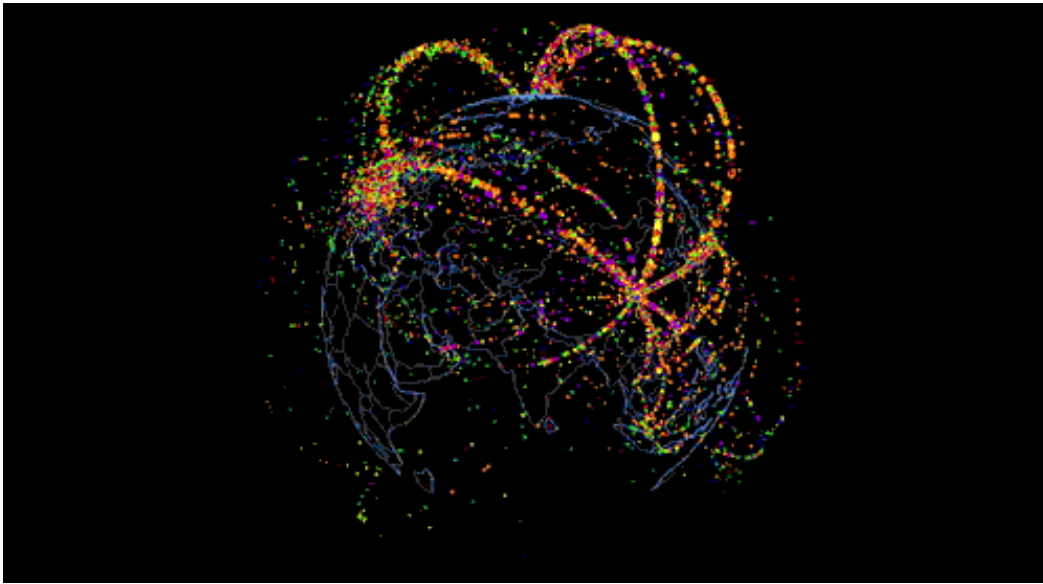
¿Cómo pensamos a las cadenas de suministro?



FUENTE: Cedillo-Campos (2018).

Complejidad urbana

¿Cómo pensamos a las cadenas de suministro?



Complejidad urbana

- Dado que consolidar la carga es la “**mejor**” solución:
 - **Empresas:** reducir el costo de transporte por producto.
 - **Gobierno:** reducir número de vehículos de carga en vialidades.
- Se requieren puntos de transferencia, pero:
 - Deben estar cerca de las zonas de consumo y el espacio urbano es escaso (caro).
 - No se prevé en las licencias de funcionamiento de los negocios.

IMPORTANTE PREVER A LA LOGÍSTICA URBANA EN EL LOS PDU

Las mercancías no votan ...

los ciudadanos no tenemos aún una visión sistémica de la movilidad

Complejidad urbana

- Según Herzog (2010), **hasta el 40%** de la congestión urbana se puede atribuir a la DUM (Distribución Urbana de Mercancías).
- Alrededor del **20% de la contaminación por CO2** en zona urbana, es derivada de la DUM (Dablanc, 2006).
- Más del **30% de los costos de transporte** en las cadenas de suministro, se derivan de la DUM (Cherrett et al., 2012; Macharis y Melo, 2011).

Complejidad urbana



COMPLEJIDAD

urbana

Inteligencia colectiva en logística

De acuerdo con Pierre Levy

UNIVERSITÉ
PARIS8



*“Es una forma de inteligencia **universalmente distribuida**, constantemente mejorada, coordinada en tiempo real, que resulta en una efectiva movilización de competencias”*

“Nadie lo sabe todo, pero todos sabemos algo”

Inteligencia colectiva en logística



© Cedillo-Campos (2020)

Inteligencia colectiva en logística



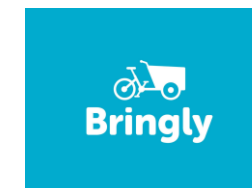
Inteligencia colectiva en logística



Quora



waze
OUTSMARTING TRAFFIC, TOGETHER



Inteligencia colectiva en logística

Como Sector Público:

- Debemos pasar del “**Gobierno de los Algoritmos**” a ...
- Una **Gestión Compartida y Ordenada** (gobernanza) de los recursos que ofrece la ciudad.

Evitar crear tensiones entre:

- Intereses de grupo **vs** Interés general

Inteligencia colectiva en logística

Indispensable:

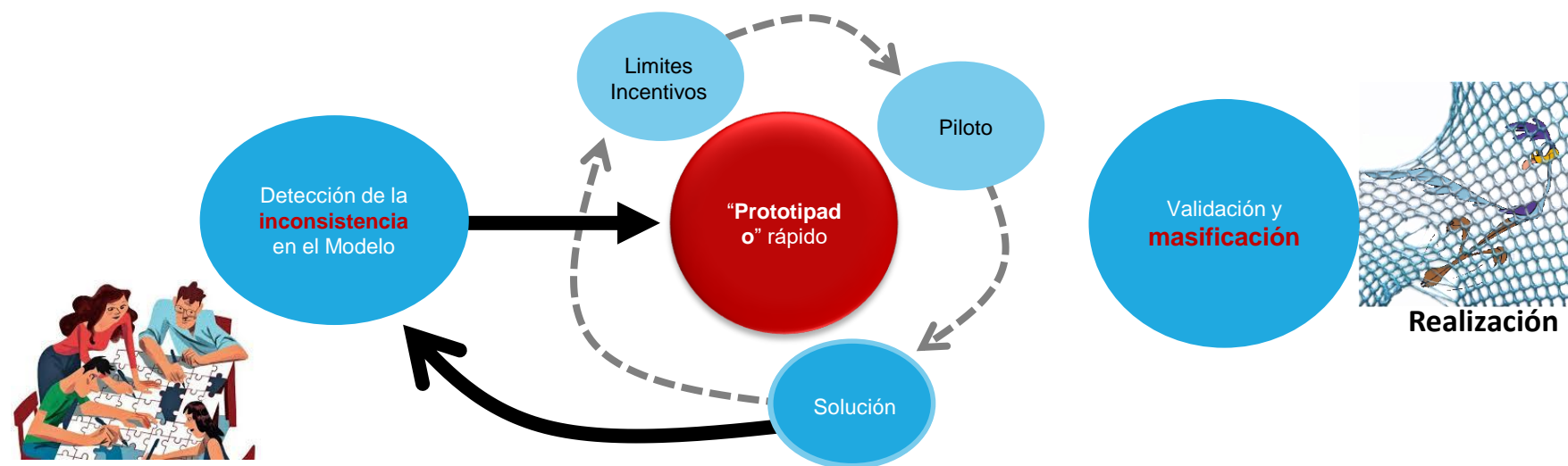
- Desarrollar un enfoque de sistemas;
- Impulsar el enfoque de colaboración madura;
- Contar con sistemas “*Torre de Control*”.

Revisar dos veces toda relación simplista “causa-efecto”

Inteligencia colectiva en logística



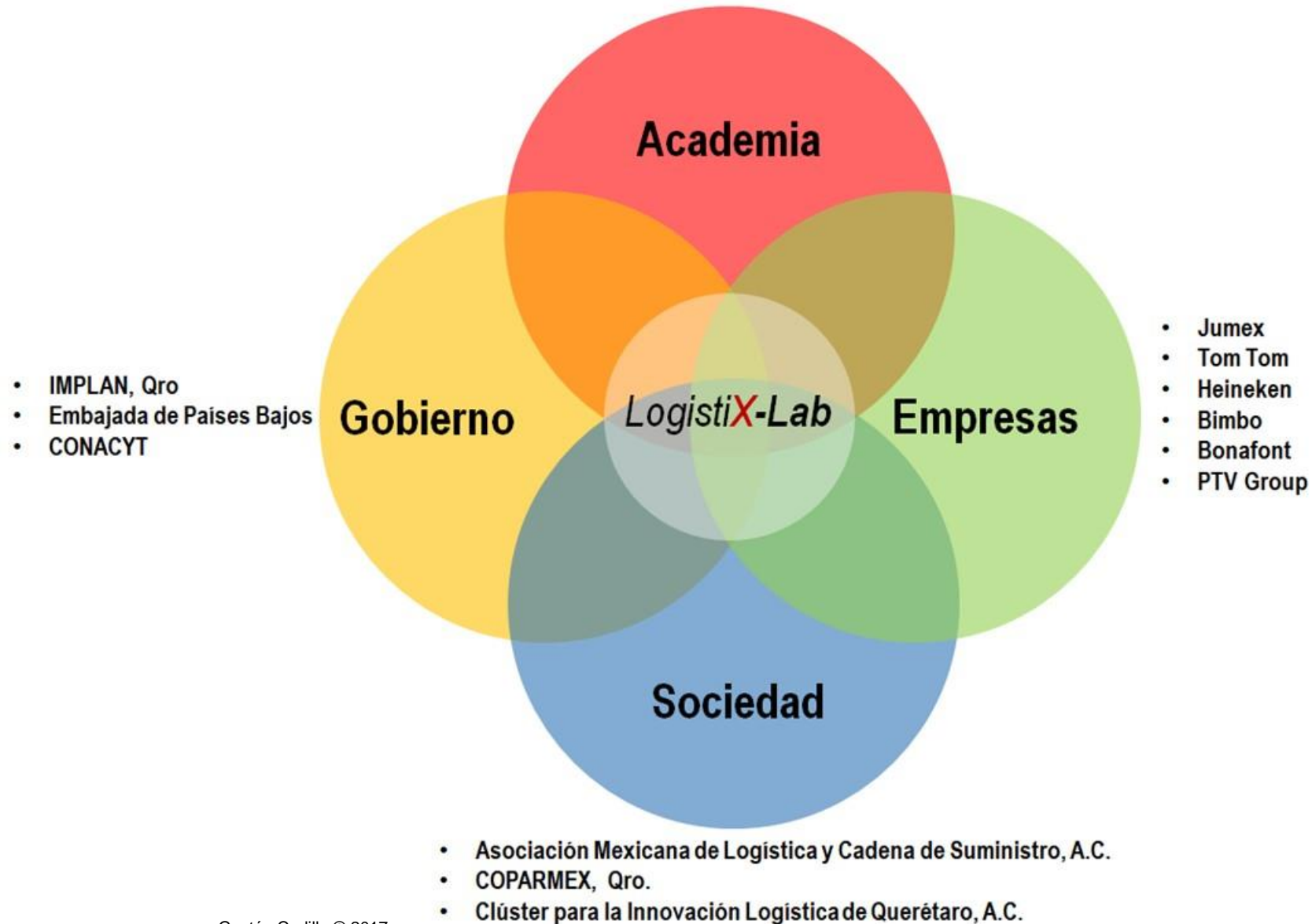
Inteligencia colectiva en logística



ESTRATEGIA 2: "Inteligencia Colectiva"

Abierta, diversa, iterativa, sin miedo a la innovación, fortaleciendo al ecosistema ...

- IMT-Laboratorio Nacional de Sistemas de Transporte y Logística
- Technological University of Eindhoven
- Tec de Monterrey



PARADOJA DE

Braess

Paradoja de Braess: ¿nuevas calles = peor tráfico?

- En 1968, Dietrich Braess* mostró un modelo de tráfico donde **al agregar una nueva avenida** a una red urbana, el estado del **tráfico empeoraba**.
- Este hecho, contrario a la intuición, también pasa a la inversa: **cerrar alguna avenida** en uso, podría **mejorar el tráfico**.

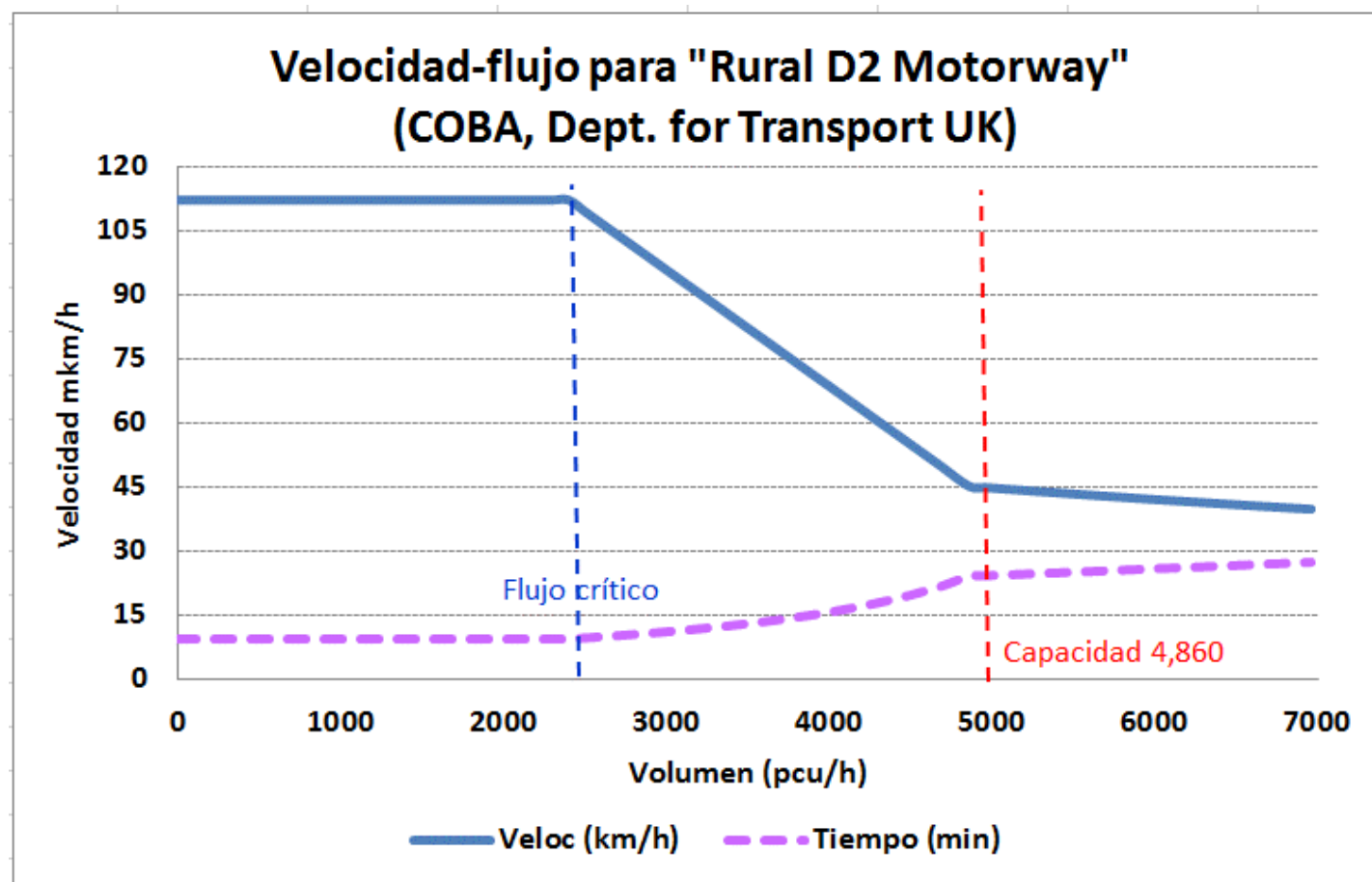
Varios casos reales se han documentado, por ejemplo:

- Calle 42, Nueva York, EUA (1990)
- Puente Mathilde, Rouen, Francia (2012)
- Varsovia, Polonia (2015)

Significado de la congestión vial

- La congestión vial aparece con el aumento del tiempo usual de traslado y la reducción de la velocidad.
- Con pocos vehículos en la vía no hay congestión, se tiene la condición de “*flujo libre*.”
- Pero ... a partir de cierto volumen de tráfico, la entrada de nuevos vehículos empieza a reducir la velocidad y por tanto aumenta el tiempo de traslado.
- Una **curva flujo-velocidad** ilustra la situación.

Ejemplo de curva flujo-velocidad (UK Df T)



- A flujo libre: 112 km/h, en 9 min 36 seg.
- A la capacidad del tramo: 45 km/h en 24 min
- Flujo crítico: 2,400 pcu/h.
- Capacidad del tramo: 4,860 pcu/h
- Longitud: 18 km.

Impactos de la congestión vial

- Disminuye la velocidad y aumenta el tiempo de viaje.
- Con vehículos circulando más tiempo hay más consumo de combustible y más emisiones contaminantes.
- El tráfico congestionado provoca estrés emocional y físico a los conductores, afectando su salud.
- Con mayores tiempos de traslado, se reduce el tiempo que conductores y pasajeros dedican a la familia, el descanso y el entretenimiento.

Modelando la congestión vial

- Una forma usual: las Funciones Volumen-Demora (VD):
 - Son formulaciones matemáticas que calculan el aumento de tiempo de recorrido en una ruta a medida que aumenta la ocupación por los vehículos.
 - Permiten estimar la reducción en velocidad conforme aumenta el flujo vehicular y en consecuencia el aumento del tiempo de viaje.
 - Algunas de las funciones usadas en modelación son:
 - Función del *U.S. Bureau of Public Roads*, (BPR Function)
 - Función lineal a trozos (*UK Department for Transport*)
 - Función Cónica de Demora

Funciones VD usadas en modelación

Función del *Bureau of Public Roads* (BPR Function)

$$t(x) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x}{C} \right)^\beta \right]$$

t_0 = tiempo a flujo libre; x = flujo en el tramo; C = capacidad; α, β parámetros de calibración.

Función Cónica de Demora

$$t(x) = t_0 \left[2 + \sqrt{\alpha^2 \left(1 - \frac{x}{C} \right)^2 + \beta^2} - \alpha \left(1 - \frac{x}{C} \right) - \beta \right]$$

t_0 = tiempo a flujo libre; x = flujo en el tramo; C = capacidad; $\alpha > 1$; $\beta = \frac{2\alpha-1}{2\alpha-2}$ son parámetros de calibración.

Funciones VD usadas en modelación (2)

Función de Demora de Akcelik

$$t(x) = t_0 + D_0 + 0.25T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{16 \cdot J \cdot L^2 x}{T^2}} \right]$$

t = tiempo de recorrido; t_0 = tiempo a flujo libre; D_0 = demora en nodo a flujo libre; T = duración esperada de la demanda; L = longitud del tramo; J = parámetro de calibración; x = razón flujo-capacidad.

Función generalizada costo-demora (generaliza la BPR)

$$c(x) = k + \delta L + \varphi t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x}{C} \right)^\beta \right]$$

$c(x)$ = costo generalizado; k = costo fijo del tramo; δ = costo unitario por distancia; L = longitud del tramo; **φ = valor del tiempo**; t_0 = tiempo de flujo libre; α y β parámetros de calibración..

Funciones VD típicas en software especializado: dos ejemplos



Pre-programmed Volume Delay Functions

The pre-programmed volume delay functions provided in TransCAD are listed below:

- The BPR function
- A conical delay function used in EMME/2
- A combined BPR and Conical Volume Delay function
- A logit delay function
- The Akcelik delay function
- A generalized cost function based on the BPR curve



6.4.2 Predefined VD functions

current traffic volume q and the capacity q_{Max} . The result of the VD function is the travel time in the loaded network t_{cur} . Visum provides several function types for the volume-delay functions:

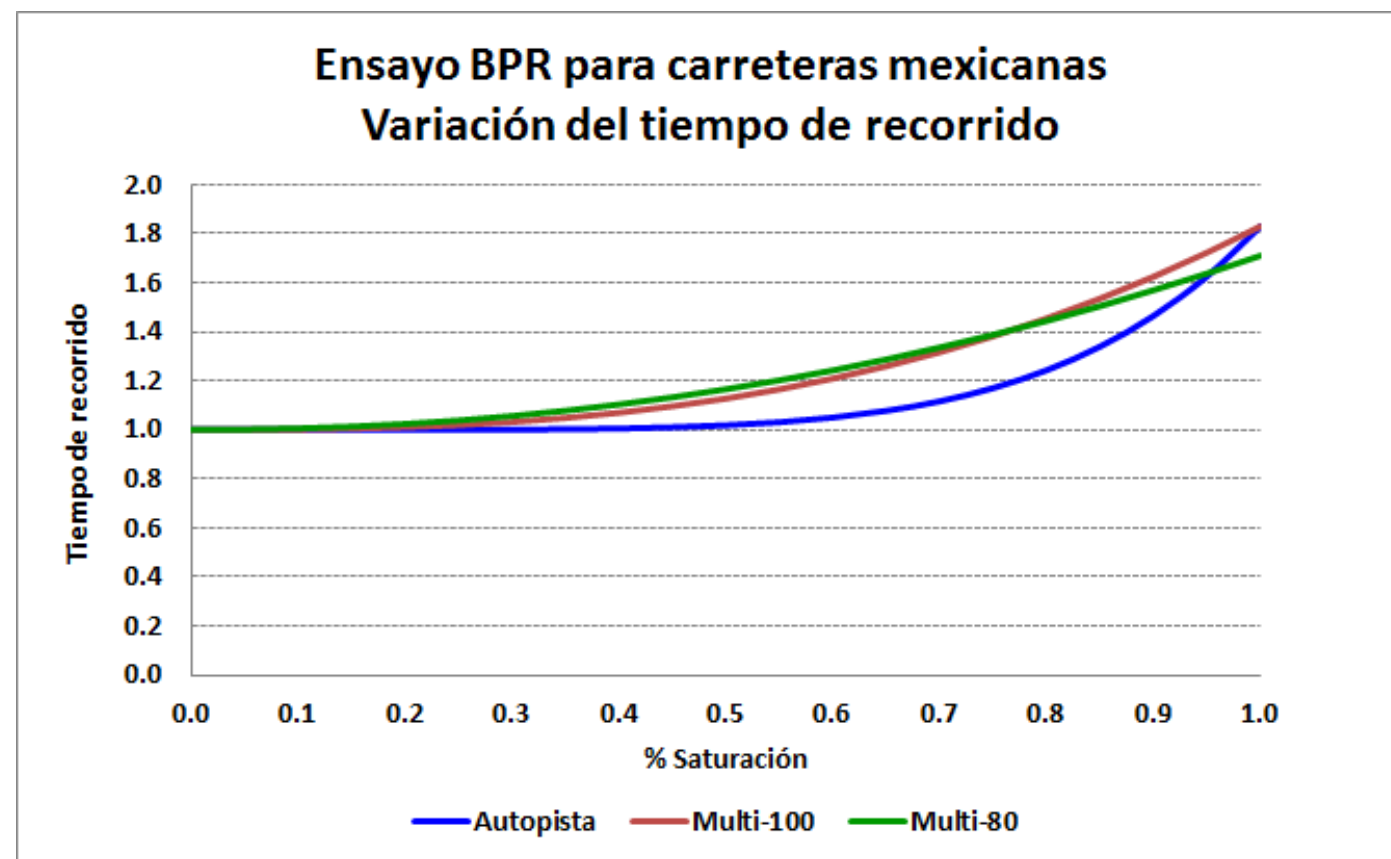
1. the BPR function in the Traffic Assignment Manual of the United States Bureau of Public Roads (Illustration 60)
2. a modified BPR function with a different parameter b for the saturated and unsaturated state (Table 76)
3. a modified BPR function, for which an additional supplement d per vehicle can be specified in the saturated state (Table 77)
4. the INRETS function of the French Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Illustration 61)
5. a constant function where the capacity does not influence travel time ($t_{Cur} = t_0$)
6. and several functions for turning processes (i.e. t_0 is added, not multiplied) as well as function type linear bottleneck which are used by turn type
7. another modified BPR function (LOHSE) with a linear rise in the oversaturated section, in accordance with the queuing theories, in order to achieve more realistic times in the oversaturated section and a better performance in assignments since small changes to the volume do not result in disproportionate travel time changes. The function is monotonic, continuous, and differentiable even where $sat = sat_{crit}$

Propuesta de función BPR para México

Función BPR

$$t(x) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x}{C} \right)^\beta \right]$$

	Autopistas	Carreteras multicarril	
Coefficiente	100 km/h	100 km/h	80 km/h
α	0.83	0.83	0.71
β	5.5	2.7	2.1

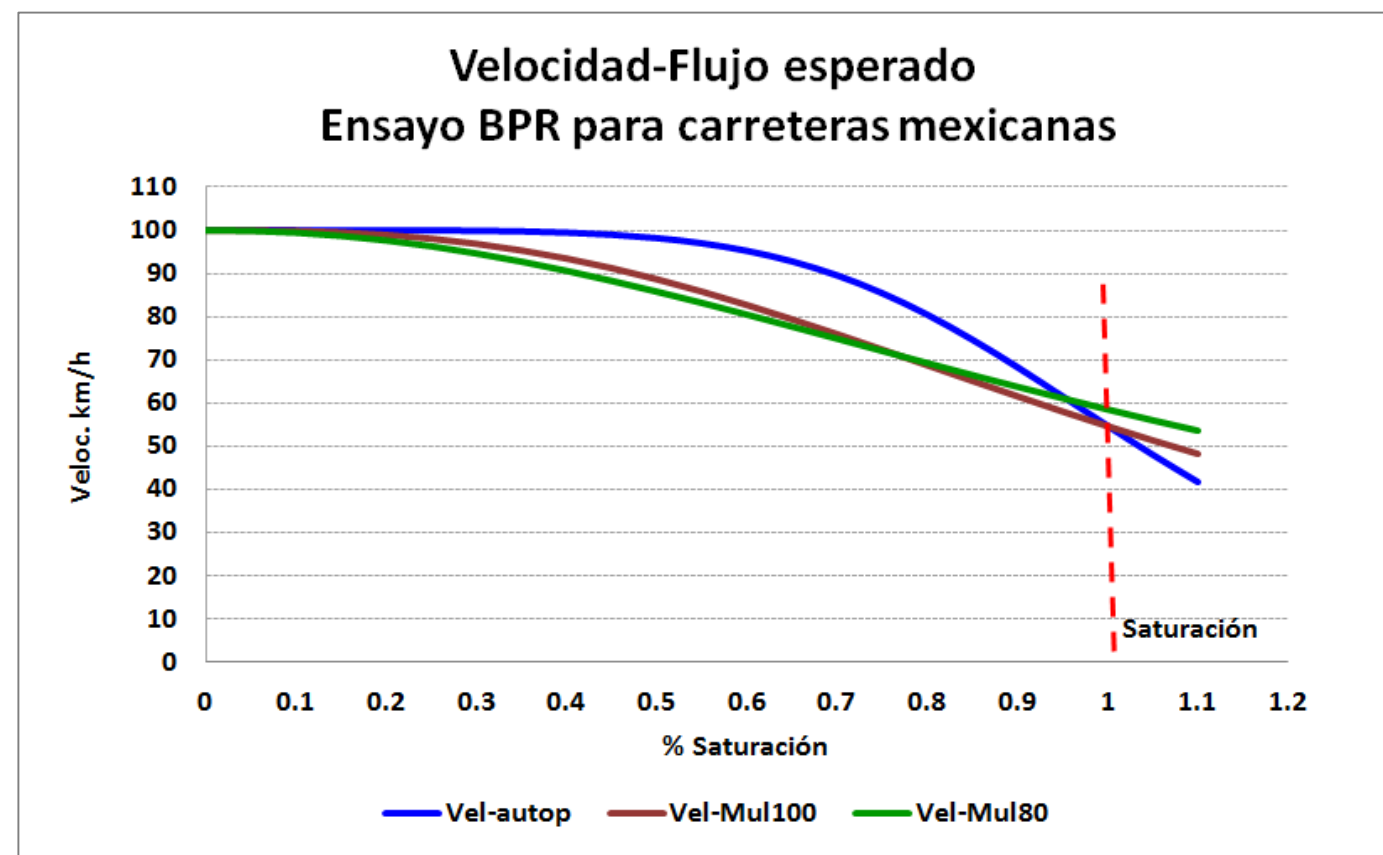


Curva velocidad-flujo. Función BPR para México

Función BPR

$$t(x) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x}{C} \right)^\beta \right]$$

	Autopistas	Carreteras multicarril	
Coefficiente	100 km/h	100 km/h	80 km/h
α	0.83	0.83	0.71
β	5.5	2.7	2.1



Paradoja de Braess (1968)



Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung

Von D. BRAESS, Münster¹⁾

Eingegangen am 28. März 1968

Zusammenfassung: Für die Straßenverkehrsplanung möchte man den Verkehrsfluß auf den einzelnen Straßen des Netzes abschätzen, wenn die Zahl der Fahrzeuge bekannt ist, die zwischen den einzelnen Punkten des Straßennetzes verkehren. Welche Wege am günstigsten sind, hängt nun nicht nur von der Beschaffenheit der Straße ab, sondern auch von der Verkehrsdichte. Es ergeben sich nicht immer optimale Fahrzeiten, wenn jeder Fahrer nur für sich den günstigsten Weg herausucht. In einigen Fällen kann sich durch Erweiterung des Netzes der Verkehrsfluß sogar so umlagern, daß größere Fahrzeiten erforderlich werden.

Summary: For each point of a road network let be given the number of cars starting from it, and the destination of the cars. Under these conditions one wishes to estimate the distribution of the traffic flow. Whether a street is preferable to another one depends not only upon the quality of the road but also upon the density of the flow. If every driver takes that path which looks most favorable to him, the resultant running times need not be minimal. Furthermore it is indicated by an example that an extension of the road network may cause a redistribution of the traffic which results in longer individual running times.

Resumen.

Supóngase que en cada nodo de una red vial se conoce el número de autos que inician allí y sus destinos. En estas condiciones se quiere estimar la distribución del tráfico. **Que una calle se prefiera a otra depende no solo de la calidad del pavimento sino también de la densidad del tráfico ahí.** Si cada auto toma el camino que le resulta más favorable, los tiempos de recorrido no necesariamente son mínimos. **Aún más, se muestra un ejemplo donde una ampliación de la red de caminos podría causar una redistribución del tráfico que resulte en mayores tiempos individuales de recorrido para los autos.**

Braess reeditado: 2005



TRANSPORTATION SCIENCE

Vol. 39, No. 4, November 2005, pp. 446–450
ISSN 0041-1655 | EISSN 1526-5447 | 05 | 3904 | 0446

informs[®]

DOI 10.1287/trsc.1050.0127
© 2005 INFORMS

On a Paradox of Traffic Planning

Dietrich Braess

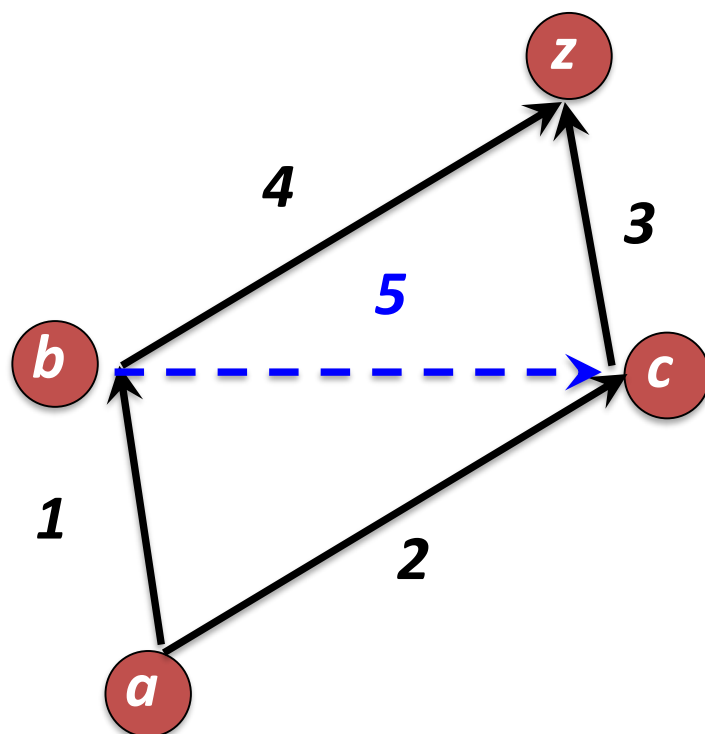
Faculty of Mathematics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany, dietrich.braess@rub.de

Anna Nagurney, Tina Wakolbinger

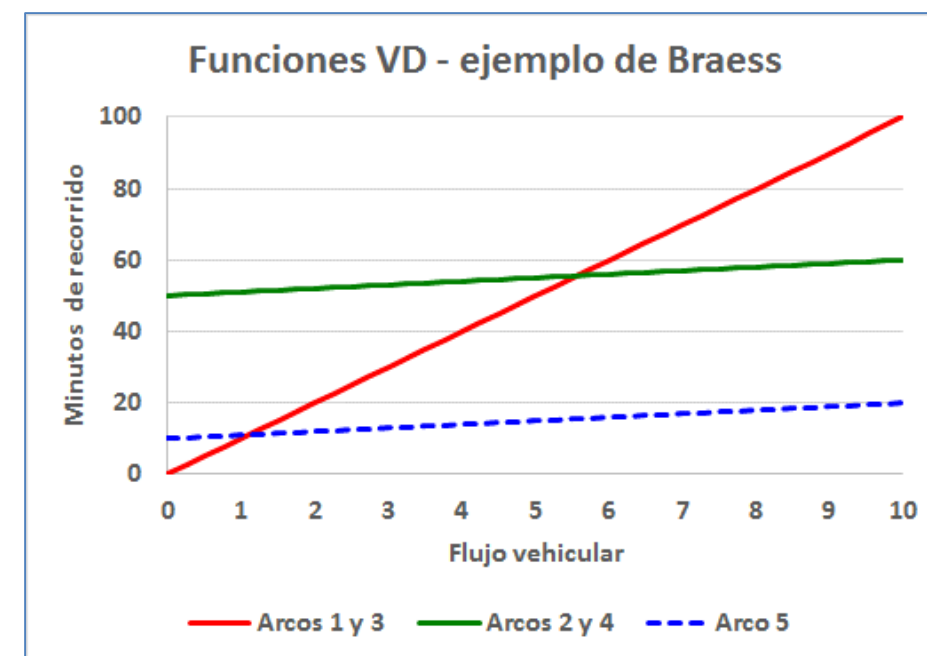
Department of Finance and Operations Management, Isenberg School of Management, University of Massachusetts,
Amherst, Massachusetts 01003 {nagurney@gbfin.umass.edu, wakolbinger@som.umass.edu}

For each point of a road network, let there be given the number of cars starting from it, and the destination of the cars. Under these conditions one wishes to estimate the distribution of traffic flow. Whether one street is preferable to another depends not only on the quality of the road, but also on the density of the flow. If every driver takes the path that looks most favorable to him, the resultant running times need not be minimal. Furthermore, it is indicated by an example that an extension of the road network may cause a redistribution of the traffic that results in longer individual running times.

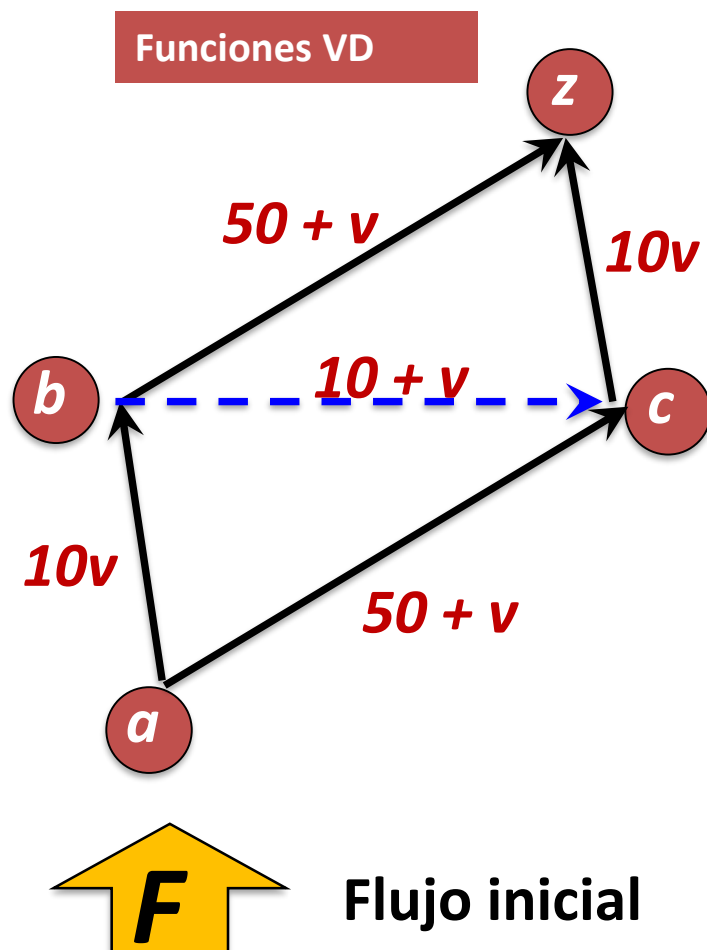
Paradoja de Braess: ejemplo ilustrativo



- ✓ Una pequeña red de flujo que va del nodo **a** al nodo **z**
- ✓ Las funciones de volumen-demora para los arcos son:
 - Arco 1: $T_1(v) = 10v$
 - Arco 2: $T_2(v) = 50 + v$
 - Arco 3: $T_3(v) = 10v$
 - Arco 4: $T_4(v) = 50 + v$
 - Arco 5: $T_5(v) = 10 + v$



Flujos en la paradoja de Braess



Con un flujo inicial $F = 2$, la distribución óptima es:

$$a-b-c-z = 2, a-b-z = 0, a-c-z = 0$$

$$T = 10 \times 2 + 10 + 2 + 10 \times 2 = 52 \text{ min}$$

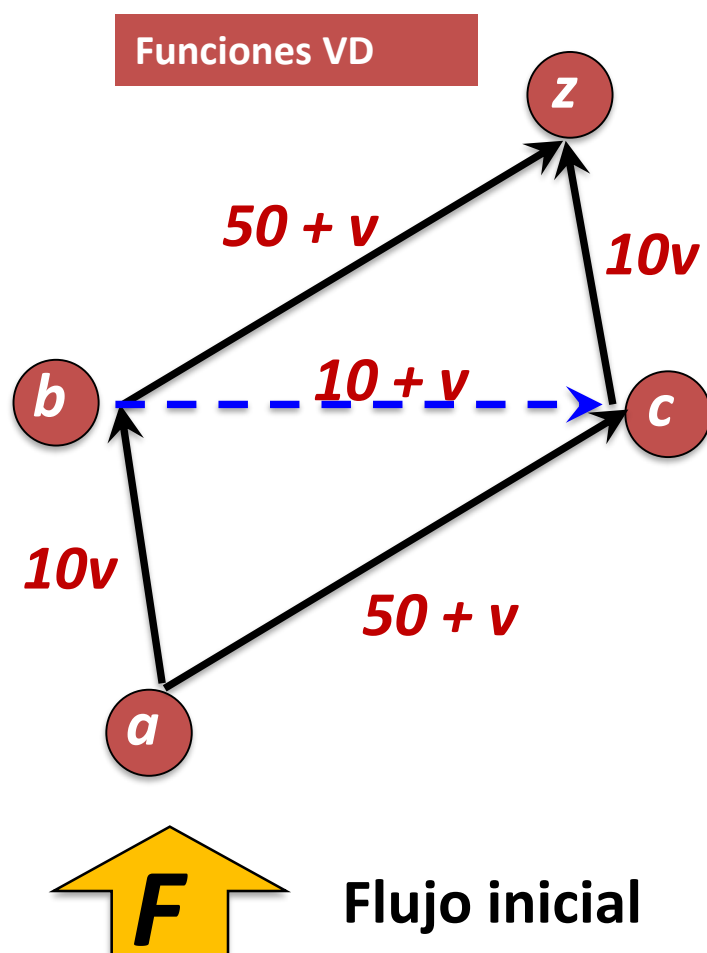
Con flujo inicial $F = 6$, la distribución óptima es:

$$a-b-c-z = 0, a-b-z = 3, a-c-z = 3$$

$$T = 10 \times 3 + 50 + 3 = 83 \text{ min}$$

Estas soluciones son matemáticamente correctas, pero ...
¿Se dan espontáneamente en el tráfico?

Flujos en la paradoja de Braess



En la práctica, la redistribución de flujos lleva al equilibrio de Wardrop*: todas las rutas en uso entre un par O-D, tienen tiempos de recorrido mínimo iguales. Las rutas no usadas tienen tiempos iguales o mayores.

Con el flujo inicial $F = 6$, el equilibrio de Wardrop produce el mismo tiempo en todas las rutas:

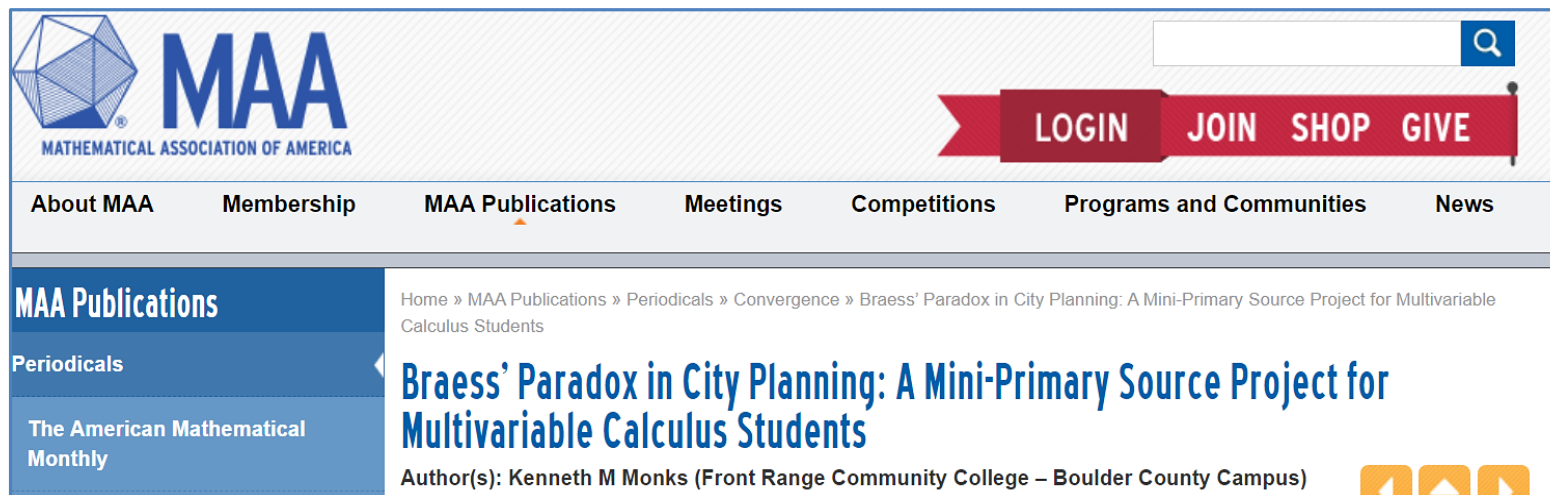
$$a-b-c-z = 2, a-b-z = 2, a-c-z = 2, T = 92 \text{ min}$$

Este tiempo es 8 min mayor que el **flujo óptimo de 83 min**

De este modo, **cerrar el tramo $b-c$** mejoraría el tiempo.

* Llamado también Equilibrio del Usuario

Vistazo al ejemplo básico



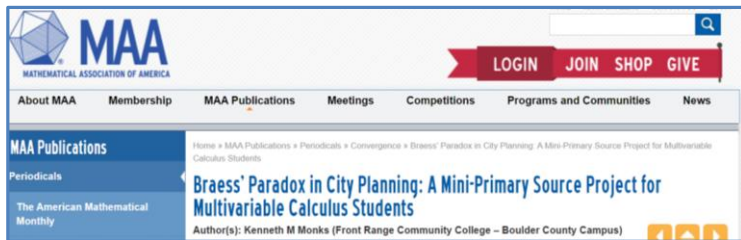
The screenshot shows the MAA (Mathematical Association of America) website. The header includes the MAA logo and navigation links: About MAA, Membership, MAA Publications, Meetings, Competitions, Programs and Communities, and News. A search bar is located in the top right. Below the navigation bar, the 'MAA Publications' section is highlighted. The main content area displays the title 'Braess' Paradox in City Planning: A Mini-Primary Source Project for Multivariable Calculus Students' by Kenneth M Monks (Front Range Community College – Boulder County Campus). The article is categorized under 'Periodicals' and 'The American Mathematical Monthly'.



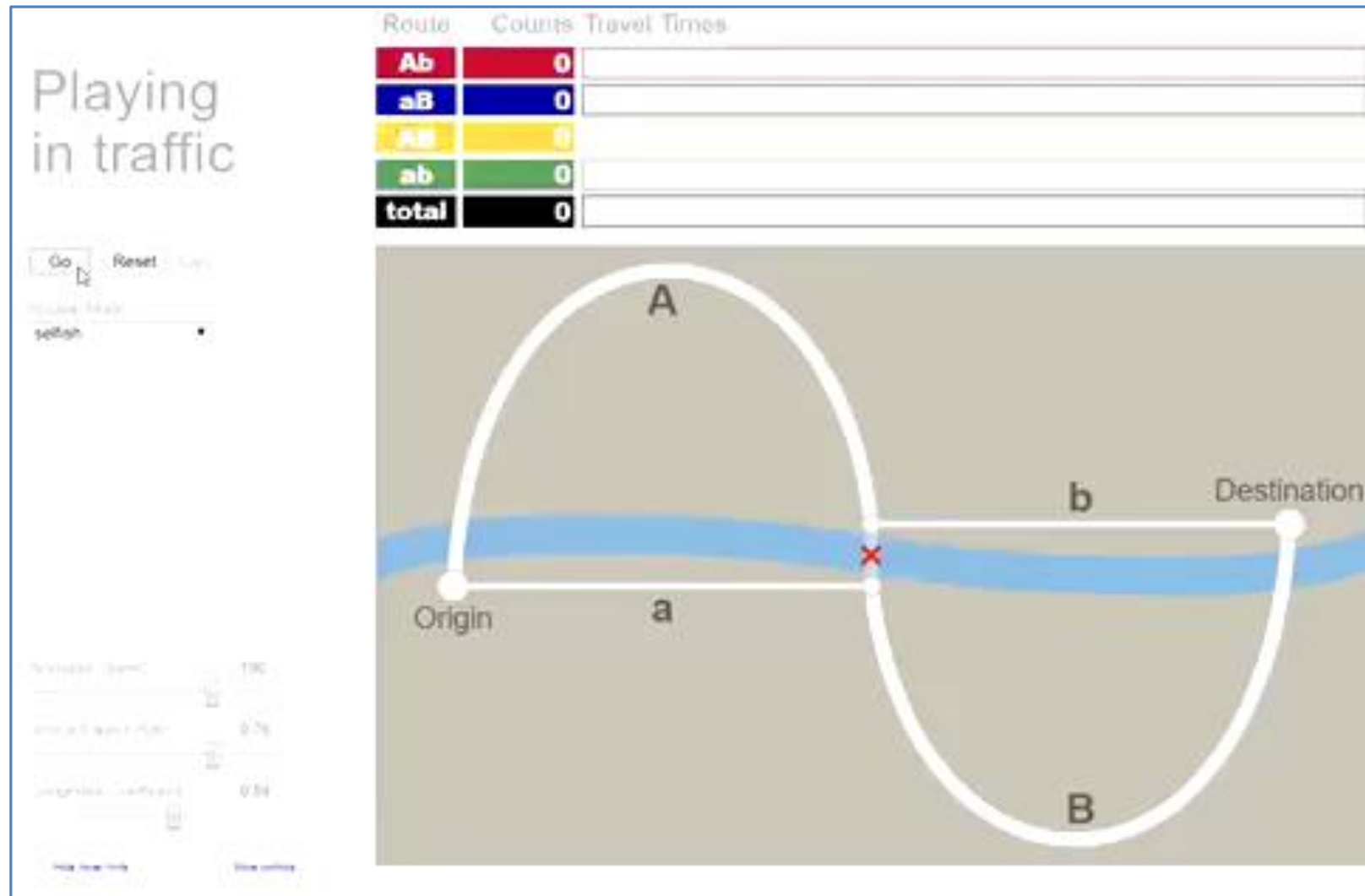
[...] cuando la ciudad de **Nueva York** cerró el paso de automóviles en la agitada Calle 42, por el Día de la Tierra 1990, no se produjo el cuello de botella que la gente esperaba, sino que resultó en una mejoría de los flujos vehiculares.

De hecho, la ciudad de Nueva York empezó a considerar dejar el área permanentemente cerrada para uso peatonal exclusivo.

Simulación



Movie produced by author(Kenneth M Monks) using the [interactive traffic simulator](#) developed by Brian Hayes



Paradoja de Braess: ¿qué tanto ocurre?

Varios autores han estudiado la posible ocurrencia

- **Steinberg R., and Zangwill W.I. (1983).** Bajo supuestos razonables en una red general de transporte, dan condiciones necesarias y suficientes para que la paradoja ocurra. *Su análisis concluye que la paradoja tiene la misma probabilidad de ocurrir que de no ocurrir.*
- **Pas, E., and Principio, S.L. (1997).** Muestran que la ocurrencia de la paradoja depende de las funciones VD y de la demanda de viajes. Para el modelo que usan muestran que la paradoja ocurre solo si la demanda está en un rango de valores, que depende de los parámetros de las funciones VD. *En particular, para demandas muy bajas o muy altas, se muestra que la paradoja no ocurre en ese modelo.*

Postura de Lewis-Mogridge

En 1990, Lewis y Mogridge postularon la hipótesis de que:

- *A medida que más caminos se construyen, más tráfico surge para ocuparlos.*

Así, la mejora en velocidad de circulación del nuevo camino se disipa pronto. Esta postura L-M suele declararse así:

- *El tráfico se expande para ocupar todo espacio disponible en el camino.*

... lo que se conoce también como la ***generación de tráfico inducido***:

- *Vehículos que usaban rutas alternas ahora cambian al nuevo camino*
- *Usuarios de horas fuera-de-pico, ahora usan el nuevo camino*
- *Algunos usuarios de transporte público cambian al nuevo camino*

Postura de Lewis-Mogridge (2)

La postura L-M, **NO** dice que nunca se justifican nuevos caminos, sino más bien que ***su construcción debe atender al sistema de tráfico completo***, conociendo a detalle el movimiento de carga y pasaje, y sus motivos de viaje.

Modgride (1997), al revisar evidencia empírica del tema, concluye que:

- **El argumento original es correcto:** **incrementar la capacidad vial en condiciones de congestión puede empeorar la situación**, en esencia, debido a la interacción entre el transporte público y el privado.
- **Una conclusión relevante para la política es:** una condición necesaria **para mejorar la fluidez en vialidades es mejorar la calidad del transporte público.**

Referencias

- Cedillo-Campos, M. (2020). Web platform to develop collective intelligence in logistics for Latin American SMEs: the case of SmartLogistiX3.com. Nova Scientia, Vol 12, No 25 [Online]:
<http://novascientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/2452/943>
- Braess, D. (1968). *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung*. Prof. Dr. Dietrich Braess, Fakultät für Mathematik. Ruhr-Universität Bochum. Disponible en la página del Prof. Braess: <https://homepage.ruhr-uni-bochum.de/Dietrich.Braess/paradox.pdf>
- Braess, D., Nagurney, A. and Wakolbinger, T. (2005). "On a Paradox of Traffic Planning". *Transportation Science*. Vol. 39, No. 4. November 2005, pp. 446-450.
- Moreno, E., Rico, O. y Bustos, A. (2014). *Funciones volumen-demora en la modelación de flujos vehiculares*. Publicación Técnica. No.427. IMT. México
- Monks, Kenneth. M. (2015). *Braess' Paradox in City Planning: A Mini-Primary Source Project for Multivariable Calculus Students*. Mathematical Association of America. MMA Publications. Disponible en:
<https://www.maa.org/press/periodicals/convergence/braess-paradox-in-city-planning-a-mini-primary-source-project-for-multivariable-calculus-students>
- Steinberg, R. and Zangwill, W.I. (1983). "The Prevalence of Braess' Paradox". *Transportation Science*. Vol. 17, No. 3.
- Martin JHMogridge. (1997). "The self-defeating nature of urban road capacity policy: A review of theories, disputes and available evidence". *Transport Policy*. Volume 4, Issue 1. January 1997, Pages 5-23.

Muchas gracias



Dr. Gastón Cedillo

IMT-Laboratorio Nacional CONACYT
Sistemas de Transporte y Logística



@gastoncedillo



@gastoncedillo



www.gastoncedillo.com



Dr. Eric Moreno

IMT-Laboratorio Nacional CONACYT
Sistemas de Transporte y Logística



emoreno@imt.mx



www.giz.de



https://twitter.com/giz_gmbh



<https://www.facebook.com/gizprofile/>

TRANSPORTE INTEGRADO Y LOGÍSTICA

IMT-Laboratorio Nacional CONACYT
Sistemas de Transporte y Logística



(442) 216.97.77 ext. 2104



gaston.cedillo@imt.mx
emoreno@imt.mx



www.imt.mx

