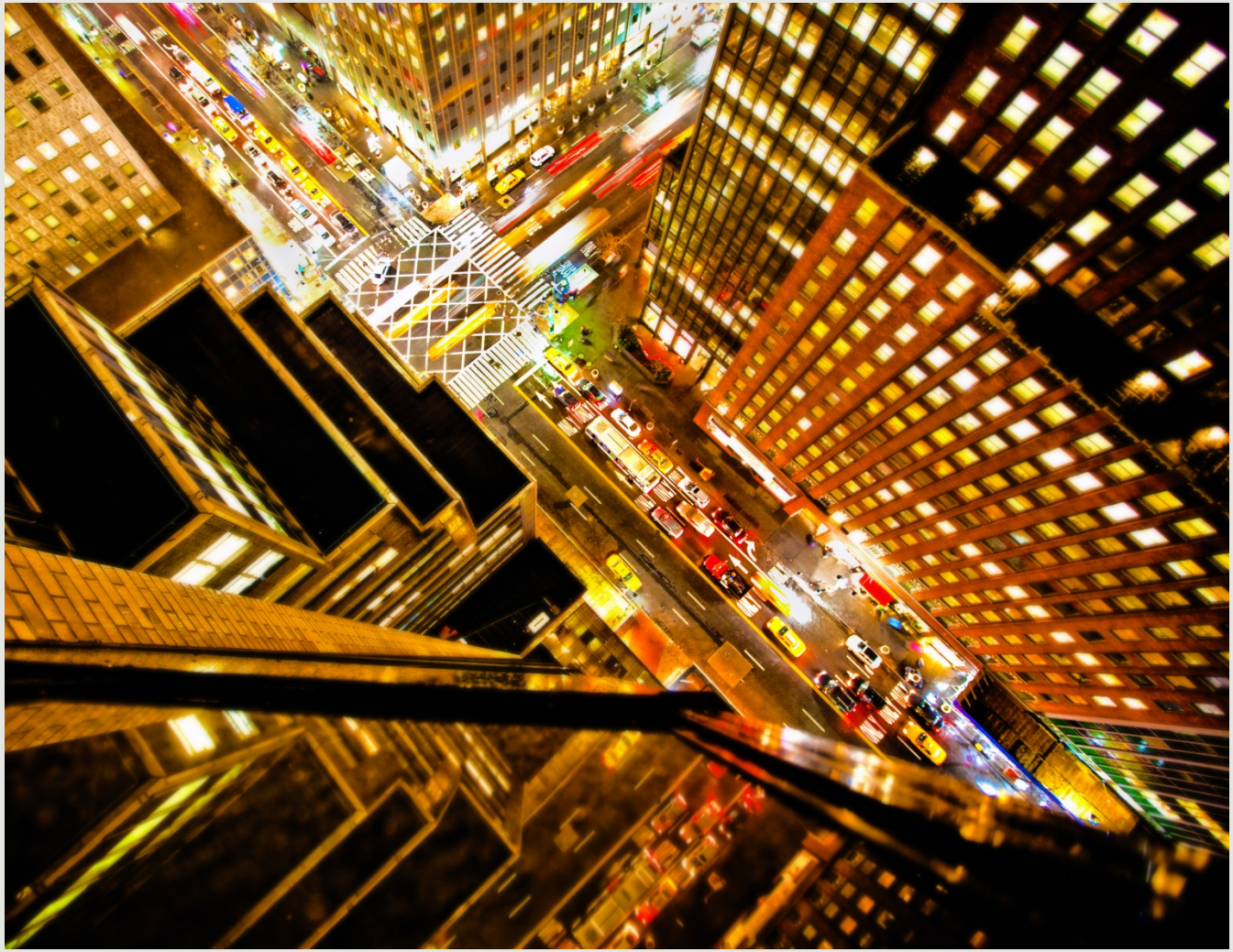
El diseño y manejo de sistemas de movilidad urbana sostenible en la era del “big data“

Carolina Osorio



Temas

- Los sistemas de movilidad urbana del futuro
- Desafíos de la ingeniería del futuro
- Avances recientes

Sistemas de Movilidad del Futuro

- IOT: viajeros, vehículos, infraestructura poseen cada vez más sensores
- Aumento de la conectividad (V2V, V2I): sistemas que tienden a la complejidad
- Datos que empoderan
  - Viajeros entienden mejor sus alternativas u opciones de transporte
  - Se están convirtiendo en “optimizadores” en tiempo real de sus trayectos

- Tendencias actuales
- Características de los sistemas de movilidad del futuro:

1. Centrados en el usuario
2. Sostenibles
3. Evolucionan constantemente

Sistemas de Movilidad del Futuro

1. Centrados en el usuario: las necesidades y preferencias individuales y en tiempo real de cada viajero constituirán el núcleo de los sistemas

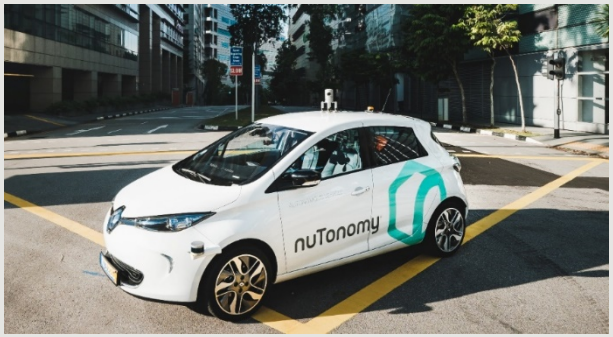
2. Sostenibles

- Nuestros sistemas actuales contribuyen significativamente al consumo de combustible y a las emisiones de gases de efecto invernadero
- Necesidad crítica y urgente de mitigar los efectos de la congestión urbana: energéticos, ambientales, económicos y sociales

Sistemas de Movilidad del Futuro

3. Evolucionan constantemente

- La era del “big data” ha introducido nuevos actores en la toma de decisiones y nuevas plataformas
- Sus innovaciones disruptivas han permitido al sistema evolucionar a una velocidad sin precedentes



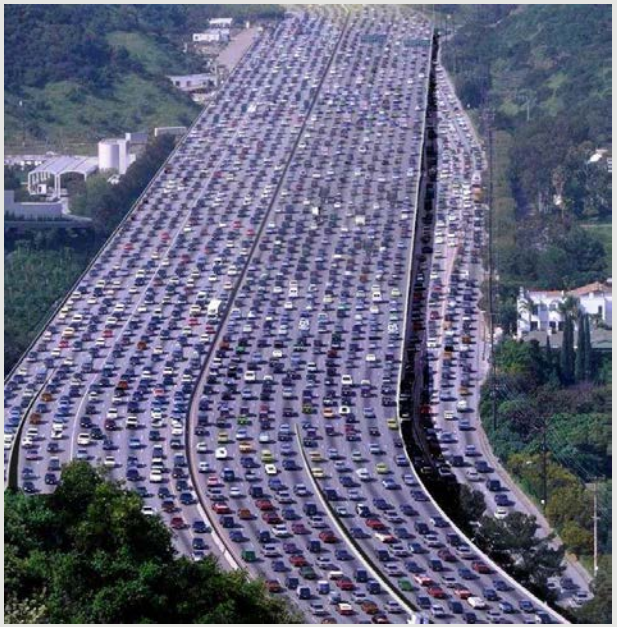
Sistemas de Movilidad del Futuro

1. Centrados en el usuario
2. Sostenibles
3. Evolucionan constantemente

- Los datos son la esencia de la toma de decisiones
- La importancia de recolectar datos que nos permitan mejorar el diseño y manejo de nuestros sistemas de movilidad

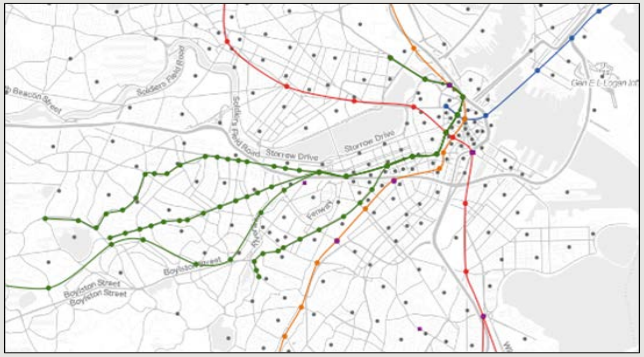
Objetivos de mi trabajo

Hacer posible el uso de datos y modelos de alta resolución para mejorar, y hasta optimizar, el diseño y manejo de sistemas de transporte a gran escala (ciudades y regiones)



Sistemas integrados de movilidad

- Responder en tiempo-real a las necesidades de los usuarios
- Vehículos compartidos: carros, bicicletas
- Sistemas integrados
  - ¿Cómo pueden estos sistemas complementar los servicios de movilidad que la ciudad ya ofrece?
  - Sistemas rentables y que mejoren también el acceso al sistema de transporte
  - Boston



Carolina Osorio

Diseño de redes de vehículos compartidos

- Modelos basados en datos : “data-driven”, con pocas hipótesis
- ¿Cómo distribuir 894 vehículos a través de las 315 estaciones?

$$\max m(x,\alpha,\beta) = \alpha T(x) + \phi(x,\beta)$$

$$T(x) = \sum_{i\in\mathcal{I}}\sum_{j\in\mathcal{I}_i}\sum_{t\in\mathcal{T}}\sum_{l\in\mathcal{L}} p^{ij} r^j_{tl} z^{ij}_{tl} - \sum_{i\in\mathcal{I}} c_i x_i$$

$$\sum_{j\in\mathcal{I}_i} z^{ji}_{tl} = z^i_{tl} \qquad \forall i\in\mathcal{I}, \forall t\in\mathcal{T}, \forall l\in\mathcal{L},$$

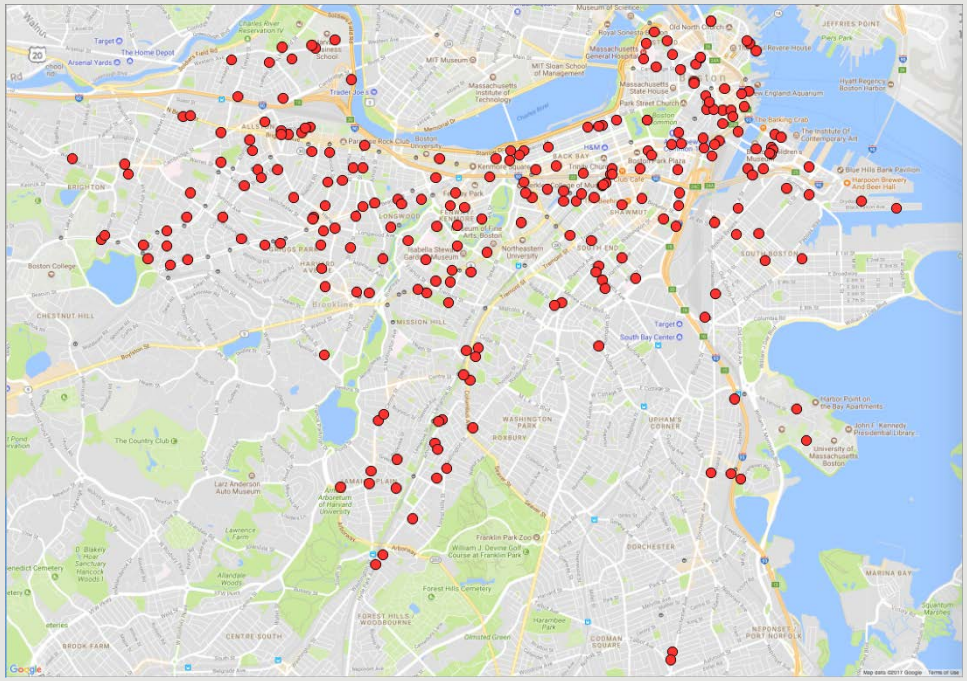
$$\sum_{j\in\mathcal{I}_i} z^{ij}_{tl} \le d^i_{tl} \qquad \forall i\in\mathcal{I}, \forall t\in\mathcal{T}, \forall l\in\mathcal{L},$$

$$\sum_{l\in\mathcal{L}} z^i_{tl} + \sum_{l\in\mathcal{L}}\sum_{t'\in\mathcal{T}_1(t,l)} z^i_{t'l} \le x_i \qquad \forall i\in\mathcal{I}, \forall t\in\mathcal{T},$$

$$x\in\mathcal{F}$$

$$z^i_{tl}\in\mathbb{R}_+ \qquad \forall i\in\mathcal{I}, \forall t\in\mathcal{T}, \forall l\in\mathcal{L},$$

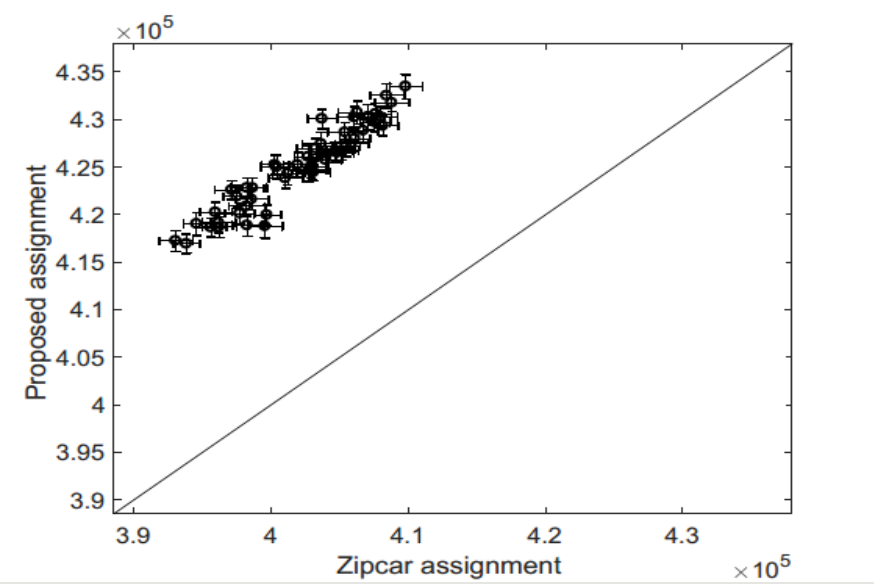
$$z^{ij}_{tl}\in\mathbb{R}_+ \qquad \forall i\in\mathcal{I}, \forall j\in\mathcal{I}_i, \forall t\in\mathcal{T}, \forall l\in\mathcal{L},$$

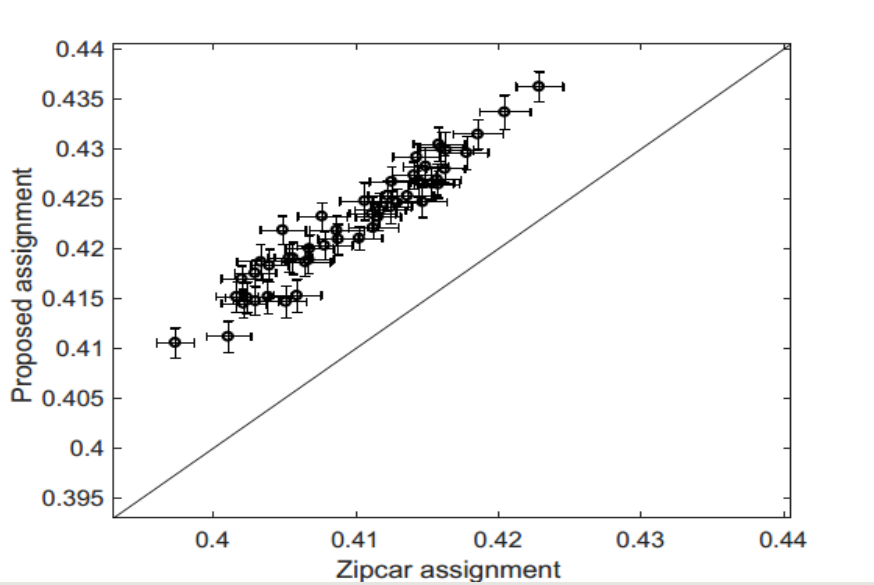


Carolina Osorio

Department of Civil & Environmental Engineering
Massachusetts Institute of Technology

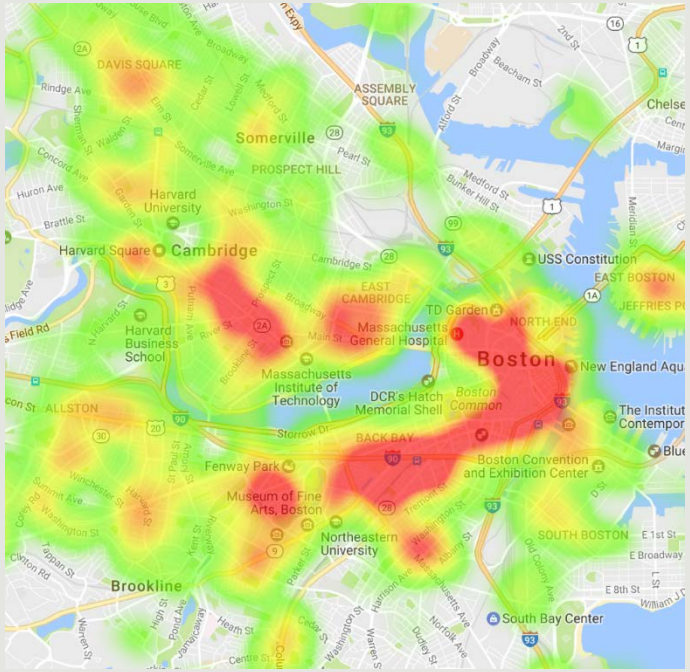
Diseño de redes de vehículos compartidos

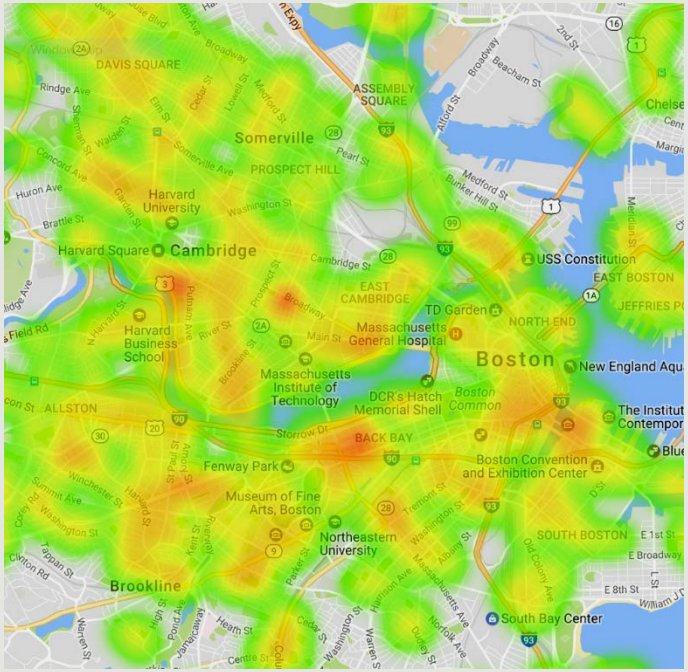




- Sistemas más rentables y con mayor utilización de los vehículos

Diseño de redes de vehículos compartidos





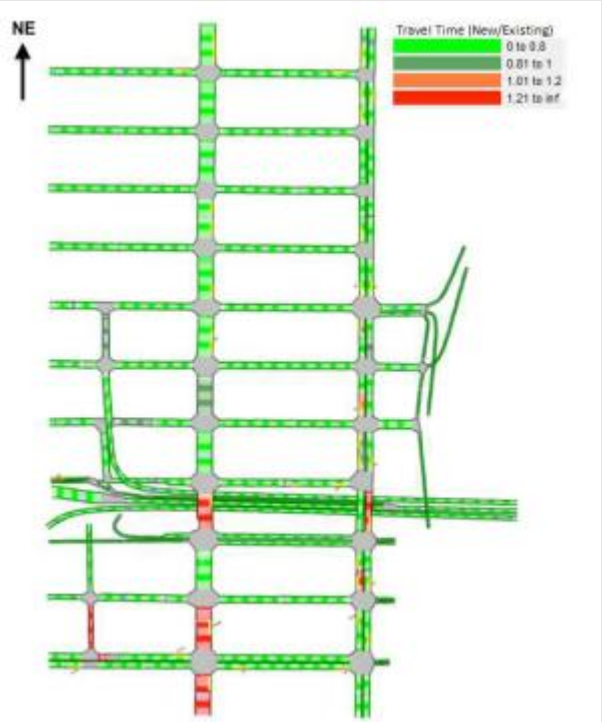
- ¿Dónde se encuentra la demanda latente ?

Entender major el comportamiento de los usuarios

- Nueva York
- Área crítica: el puente de Queensboro
- Semaforización
- Patrones de tráfico complejo: muy congestionado, multi-modal, alto tráfico peatonal, red cuadriculada con calles cortas

Carolina Osorio

Nueva York



Osorio et al. (2014) *Proc. ISTS*

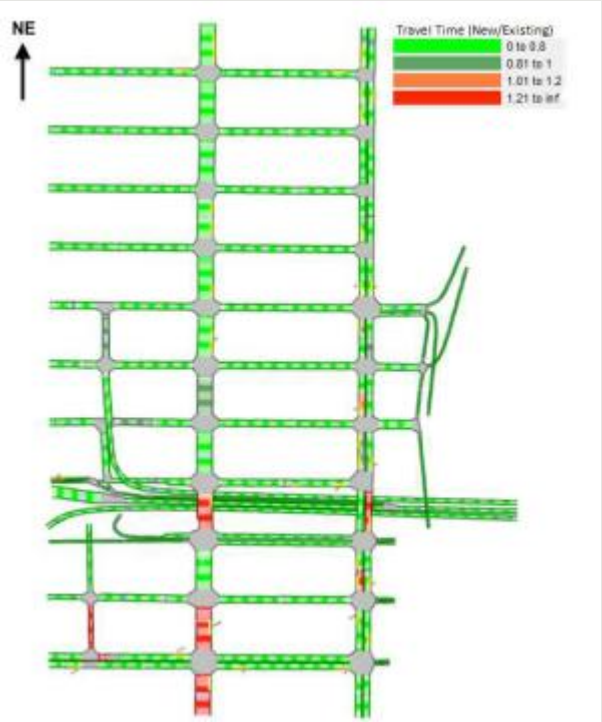
- Hora pico matutina
- 134 calles, 41 intersecciones
- Más de 11,000 trayectos

Mejoría en:

- Tiempo de viaje promedio : 10%
- Promedio de colas vehiculares : 28%
- Probabilidad de “spillback”: 23%
- Promedio de flujo: 2%

- Semaforización en tiempo real

Nueva York

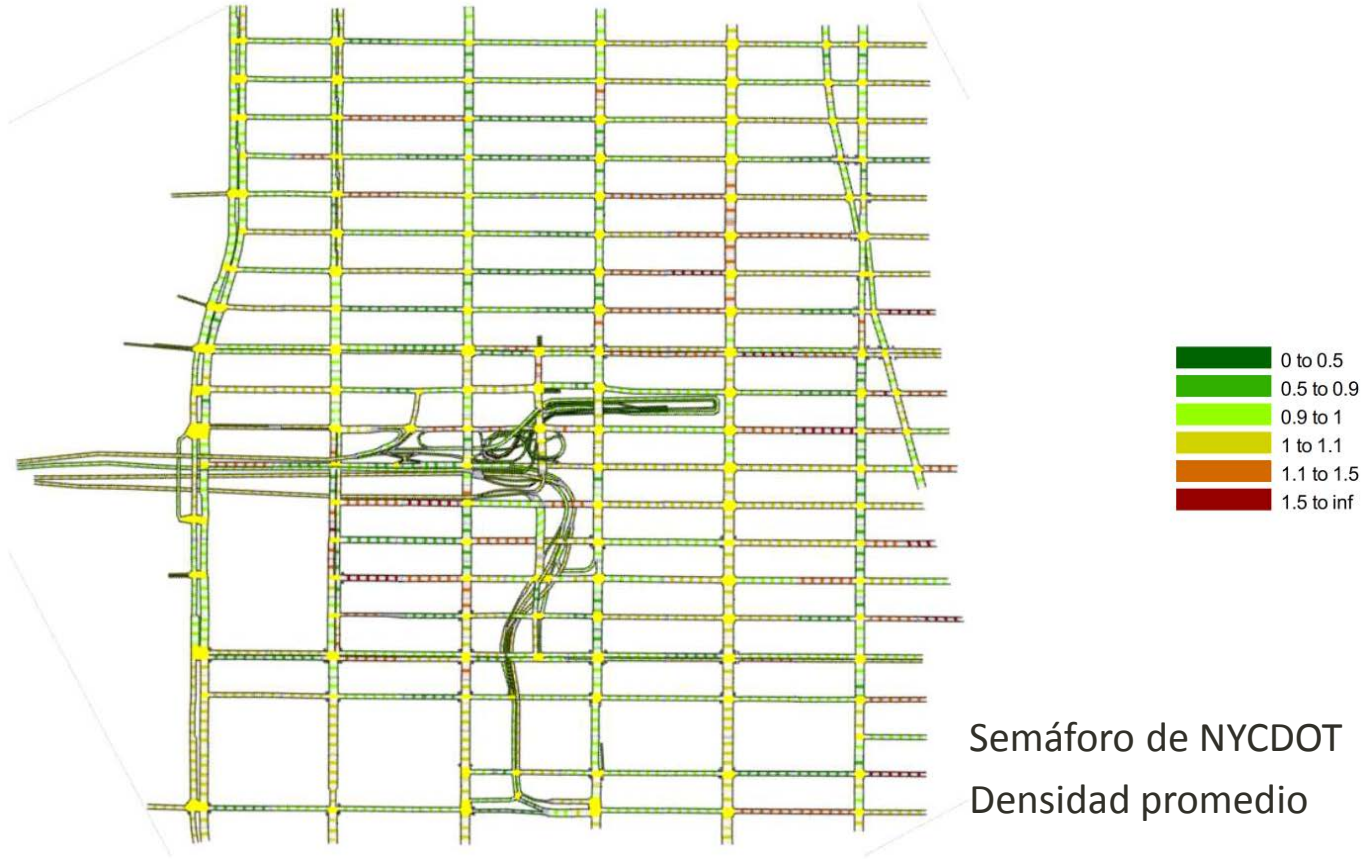


Osorio et al. (2014) *Proc. ISTS*

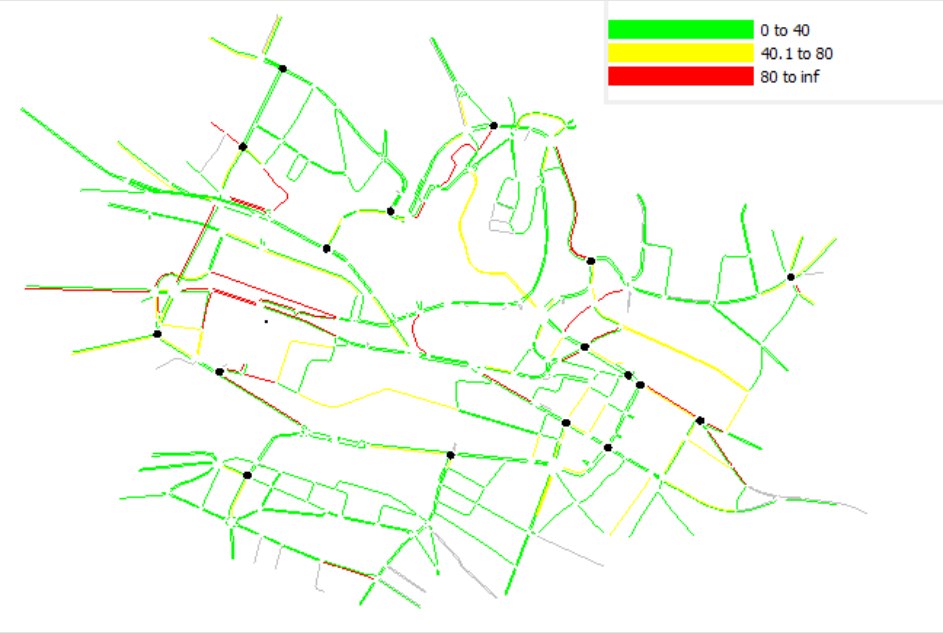
- Se pueden utilizar modelos detallados que describen con alta resolución la demanda y la oferta, para mejorar y optimizar el manejo de la red
- Hay mucho potencial para mitigar la congestión con inversiones mínimas

Optimización a gran escala

- 924 calles, 2600 carriles, 28000 trayectos
- Semaforización de 96 intersecciones : considerar el sistema de forma integral



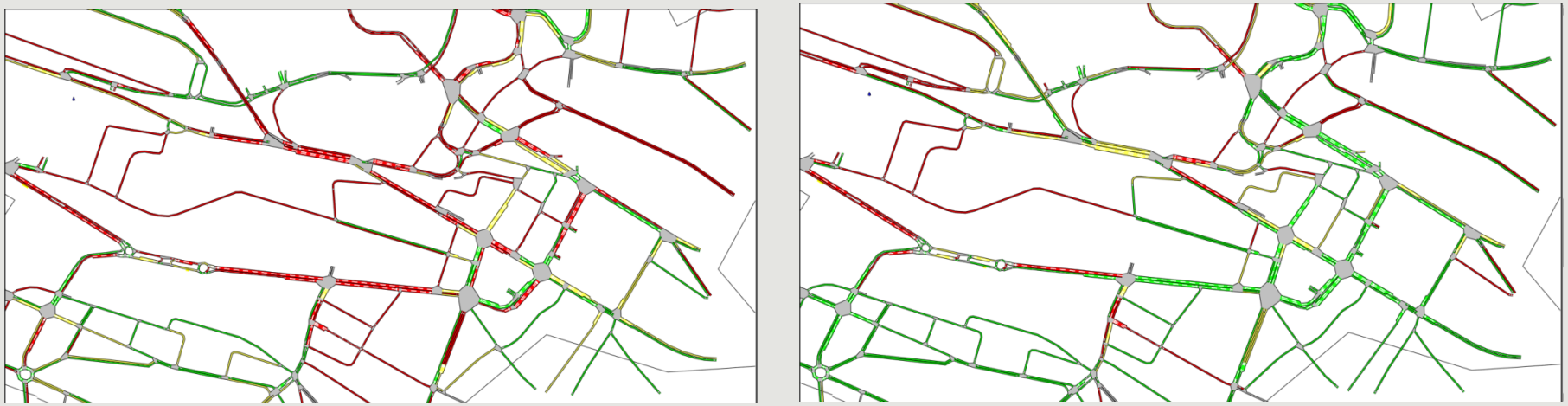
Optimización a gran escala



Osorio and Chong (2016) *Transp. Science*

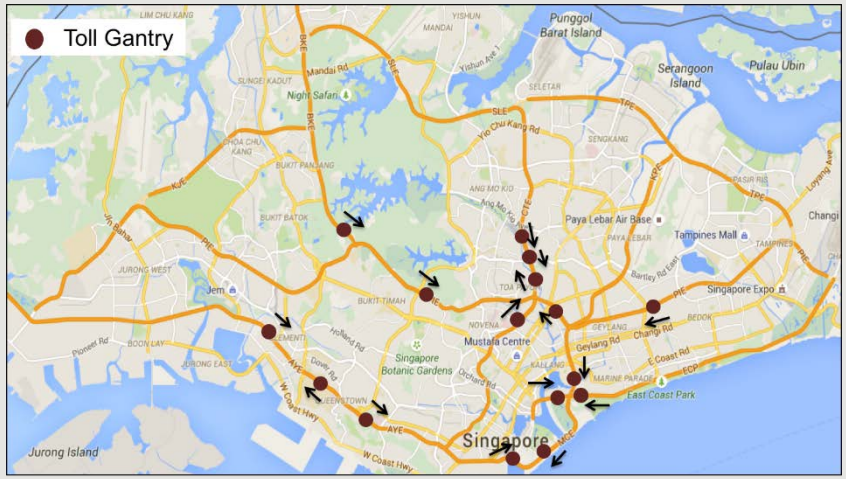
Nuevas formas de evaluar el sistema

- El “big data” permite definir normas novedosas para evaluar el servicio
- Sistemas más robustos y fiables
- Agencias de transporte a nivel mundial se están enfocando en temas de fiabilidad de la red
- Osorio, Chen and Santos (2017) *Transp. Science*



- Redes sostenibles : uso de información del comportamiento instantáneo de los vehículos
- Semaforización para mitigar el impacto energético y ambiental
- Osorio and Nanduri (2015) *Transp. Science, Transp. Res. Part B*

Sistemas de peajes

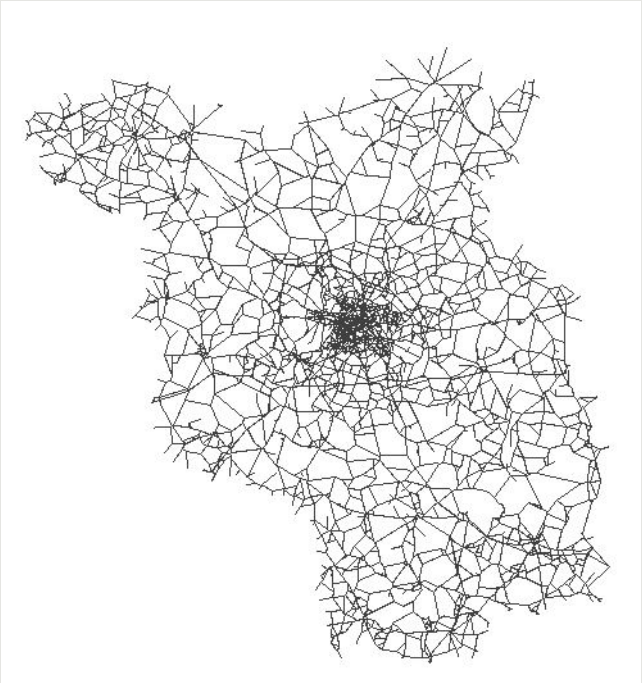


- Entender major el compartimiento y las necesidades de los viajeros
- Usar este conocimiento para mejorar el manejo del sistema de forma integral : ciudad, región
- Singapur: optimización de 16 peajes durante la hora pico matutina
- ~113,470 trayectos

Carolina Osorio

Modelación del sistema de movilidad

- Problemas de calibración
- Importancia de estos problemas, rol de los datos
- Reproducir los patrones de trafico
- Área metropolitana de Berlín : ~24,000 vías; 172,000 trayectos



Carolina Osorio

Department of
Civil & Environmental Engineering
Massachusetts Institute of Technology

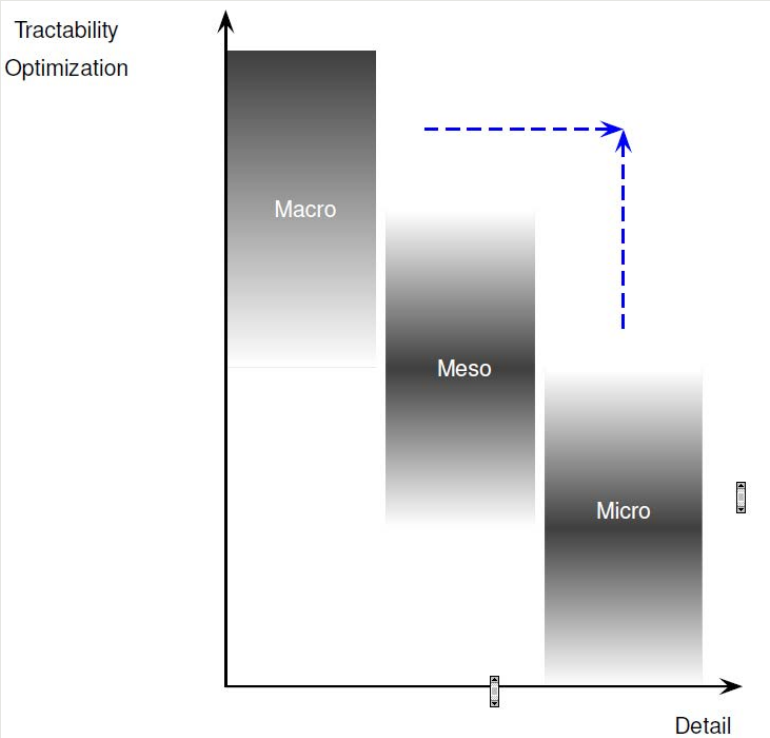
Agradecimientos

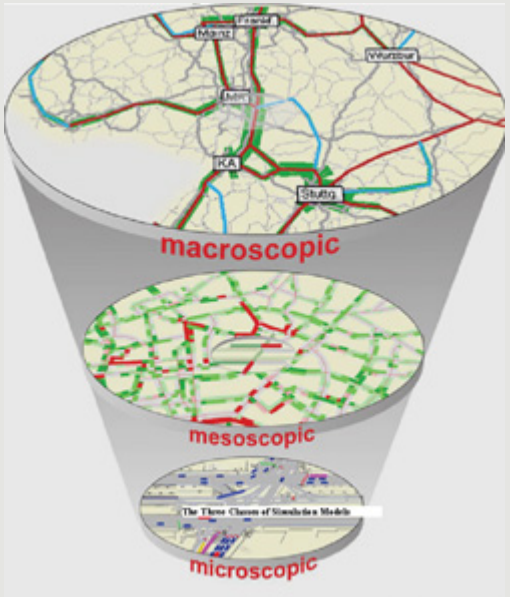
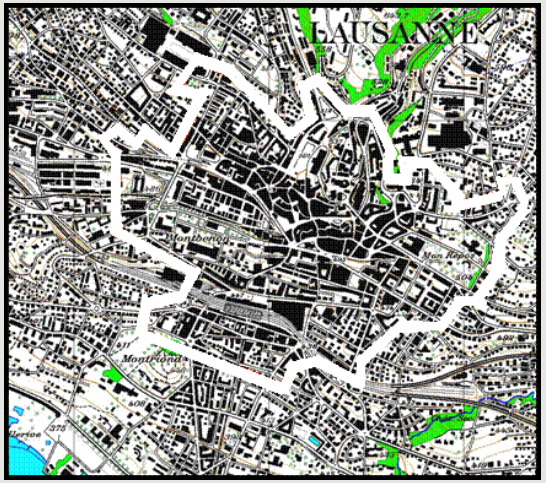
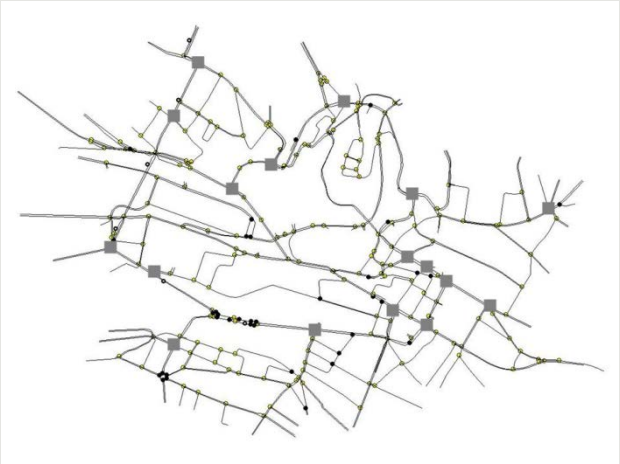
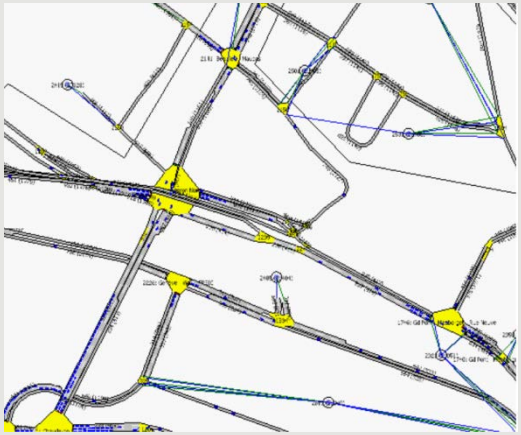
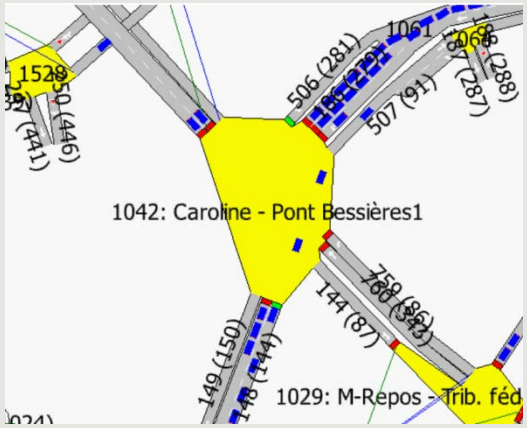
Xiao Chen	Jing Lu	Kevin Zhang
Linsen Chong	Kanchana Nanduri	Tianli Zhou
Evan Fields	Chao Zhang	

- António Antunes (Uni. Coimbra), Bilge Atasoy (MIT), Gunnar Flötteröd (KTH)
- http://cee.mit.edu/osorio

- Trabajo parcialmente financiado por:
  - US National Science Foundation Awards 1351512, 1334304 and 1562912
  - MIT Portugal Program
  - Ford-MIT Alliance

Paradigmas


Tractability
Optimization
Macro
Meso
Micro
Detail


macroscopic
mesoscopic
microscopic

High-resolution Traffic Models