

XIII
CCTT
2019

XIII CONGRESO COLOMBIANO DE TRANSPORTE Y TRÁNSITO

CARTAGENA DE INDIAS

Costo económico de la congestión en el sistema Transmilenio

Beltrán C.¹, Guzmán L.¹, Bonilla J.²

¹Grupo de Sostenibilidad Urbana y Regional-SUR, Universidad de los Andes.

²Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico-CEDE, Universidad de los Andes

Cartagena de Indias, Colombia

26-28 de Junio de 2019

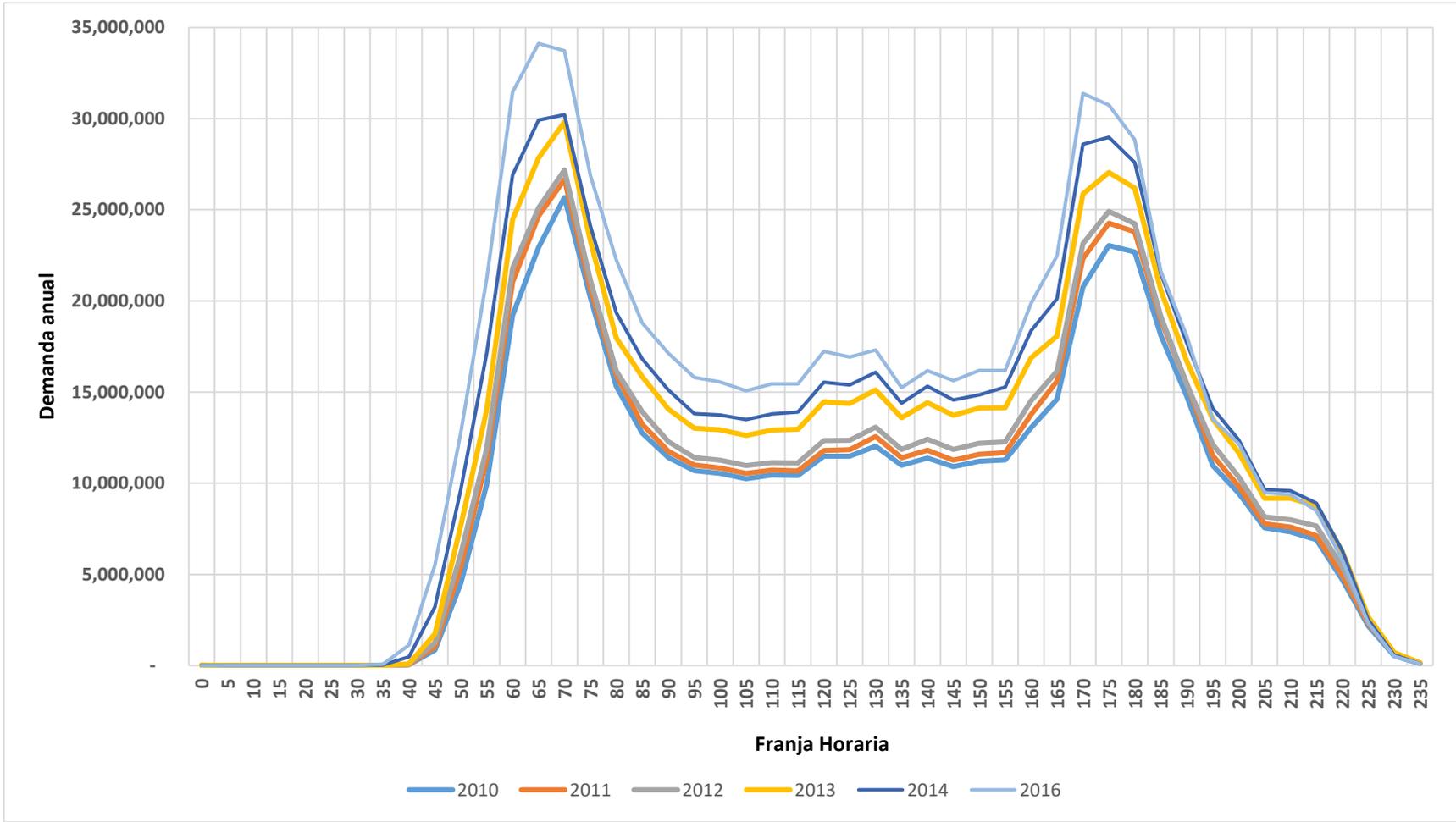
Organizadores



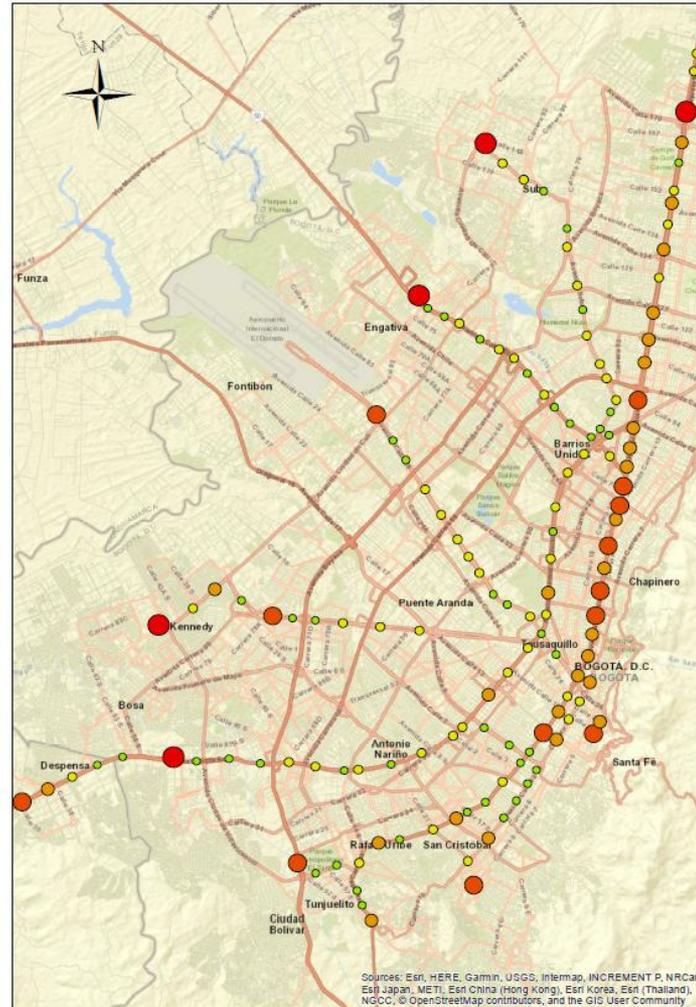
HECHOS ESTILIZADOS Y CONTEXTO

- La demanda del sistema TransMilenio ha crecido de forma sostenida hasta el año 2016
- Este crecimiento no ha sido acompañado de un aumento en la capacidad instalada y operativa tal que permitiera mantener un servicio de calidad
-esto ha derivado en altos niveles de congestión en las horas punta en las estaciones de cabecera y en estaciones intermedias cercanas a los centros de empleo de la ciudad

EVOLUCIÓN DEL PERFIL DE DEMANDA



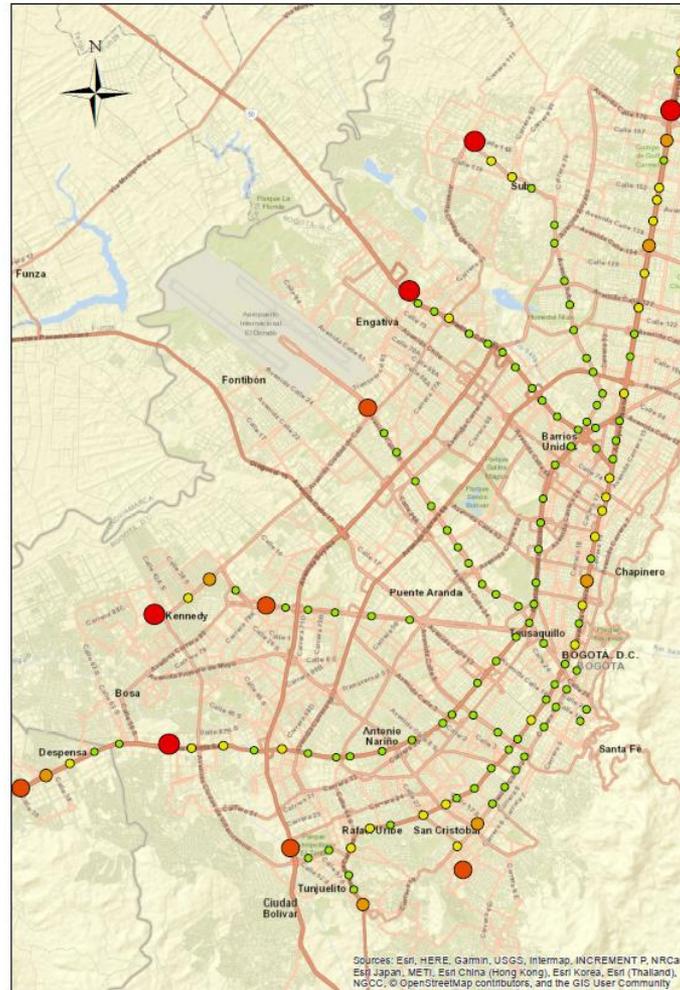
CONCENTRACIÓN DE LA DEMANDA



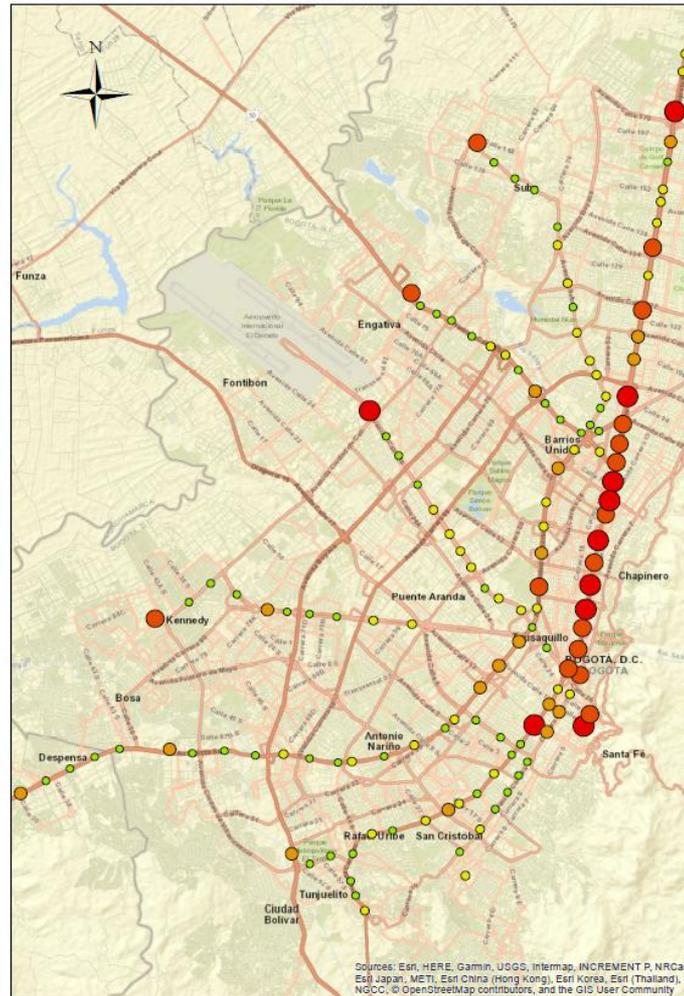
Demanda Día Típico 2017

- ◆ 1.627 - 8.601
- ◆ 8.601 - 17.792
- ◆ 17.792 - 34.764
- ◆ 34.764 - 68.307
- ◆ 68.307 - 109.629

CONCENTRACIÓN DE LA DEMANDA MAÑANA



CONCENTRACIÓN DE LA DEMANDA TARDE



Demanda Día Típico 2017 Tarde

- 782 - 4.993
- 4.993 - 9.779
- 9.779 - 15.807
- 15.807 - 27.031
- 27.031 - 46.893

Sources: Esri, HERE, Garmin, USGS, Intermap, INCREMENT P, NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), NGCC, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

MOTIVACIÓN Y OBJETIVO

.....el problema de la congestión parece evidente, pero:

- ¿cómo puede medirse?, y
- ¿cuáles son los costos o pérdidas asociados a ésta?

El **objetivo** del ejercicio es calcular el costo económico de la congestión a partir de un **indicador de congestión** y de una **función de demanda**



Foto: Mauricio León / El Tiempo

COSTO DE LA CONGESTIÓN

$$Congestión_{hed} = \frac{entradas_{hed}}{capacidad_e}$$

$Congestión_{hed}$ = nivel de congestión en la estación e en el periodo h del día d

$entradas_{hed}$ = validaciones en la estación e en el periodo h del día d

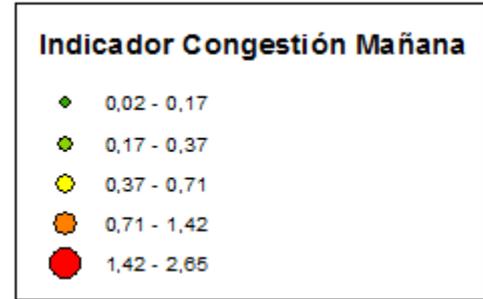
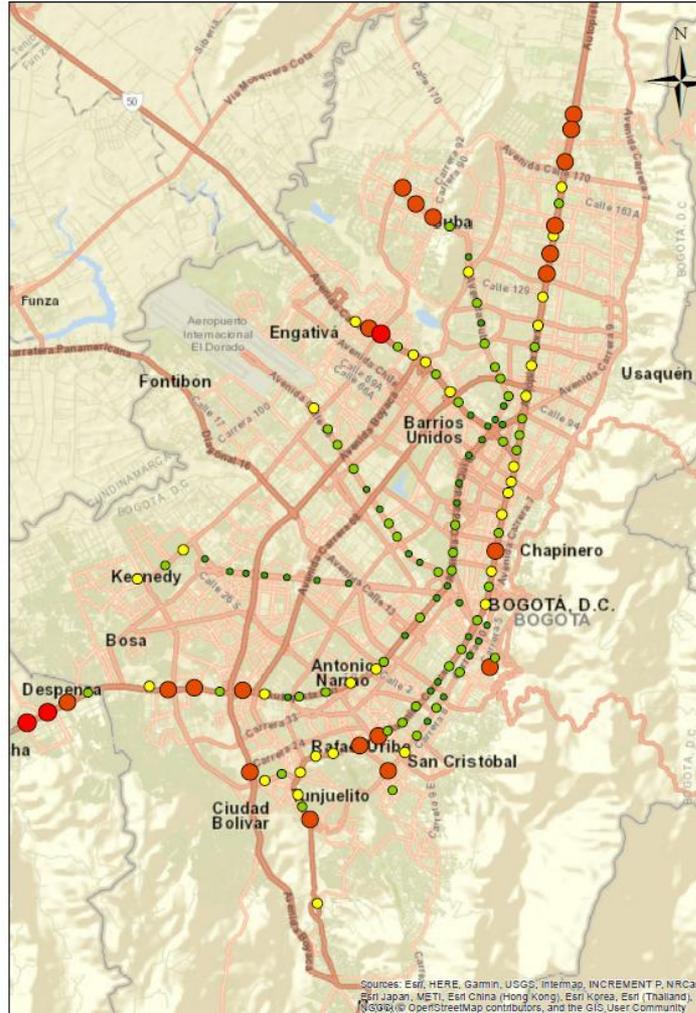
$capacidad_e$ = capacidad de la estación e

CAPACIDAD DE PERSONAS EN LAS ESTACIONES

	Nivel de Servicio	Metros cuadrados por pasajero	Definición
	A	Mayor a 1.2	Estar de pie y circular libremente a través de la zona de espera sin causar conflictos con otros peatones que estén detenidos.
	B	0.9-1.2	Estar de pie y circular parcialmente con restricciones a través de la zona de espera sin causar conflictos con otros peatones que estén detenidos.
	C	0.6-0.9	Estar de pie y circular con restricciones a través de la zona de espera causando conflictos con otros peatones que estén detenidos. Esta densidad se encuentra dentro del rango de confort.
	D	0.3-0.6	Estar de pie sin roces con otros peatones, la circulación altamente restringida en la zona de espera y sólo es posible realizar en grupo el movimiento hacia delante. Esperar un largo tiempo con esta densidad es incómodo.
	E	0.2-0.3	Estar de pie en contacto físico con otras personas es inevitable. La circulación en la zona de espera no es posible. La espera sólo puede durar un corto período sin causar un serio malestar a los peatones.
	F	Menor a 0.2	Virtualmente todas las personas se encuentran en contacto unas con otras. Esta densidad es extremadamente incómoda. No hay posibilidad de realizar movimiento alguno y existe un peligro potencial de pánico en estas muchedumbres tan grandes.

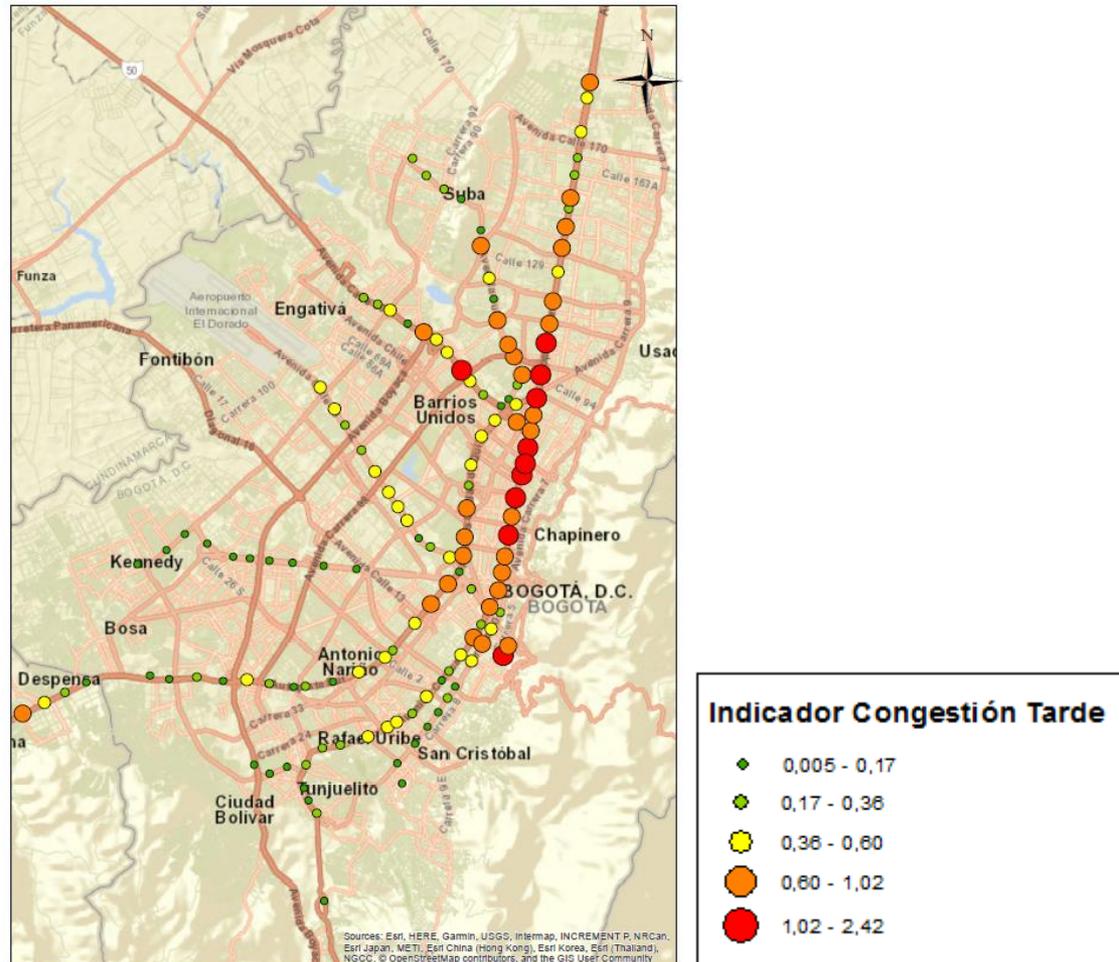
Fuente: Manual de Planeación para la Administración del Tránsito y el Transporte, Tomo III, Tránsito refiriendo al HCM 2000

ESTACIONES EN CONGESTIÓN EN EL PERIODO PUNTA DE LA MAÑANA

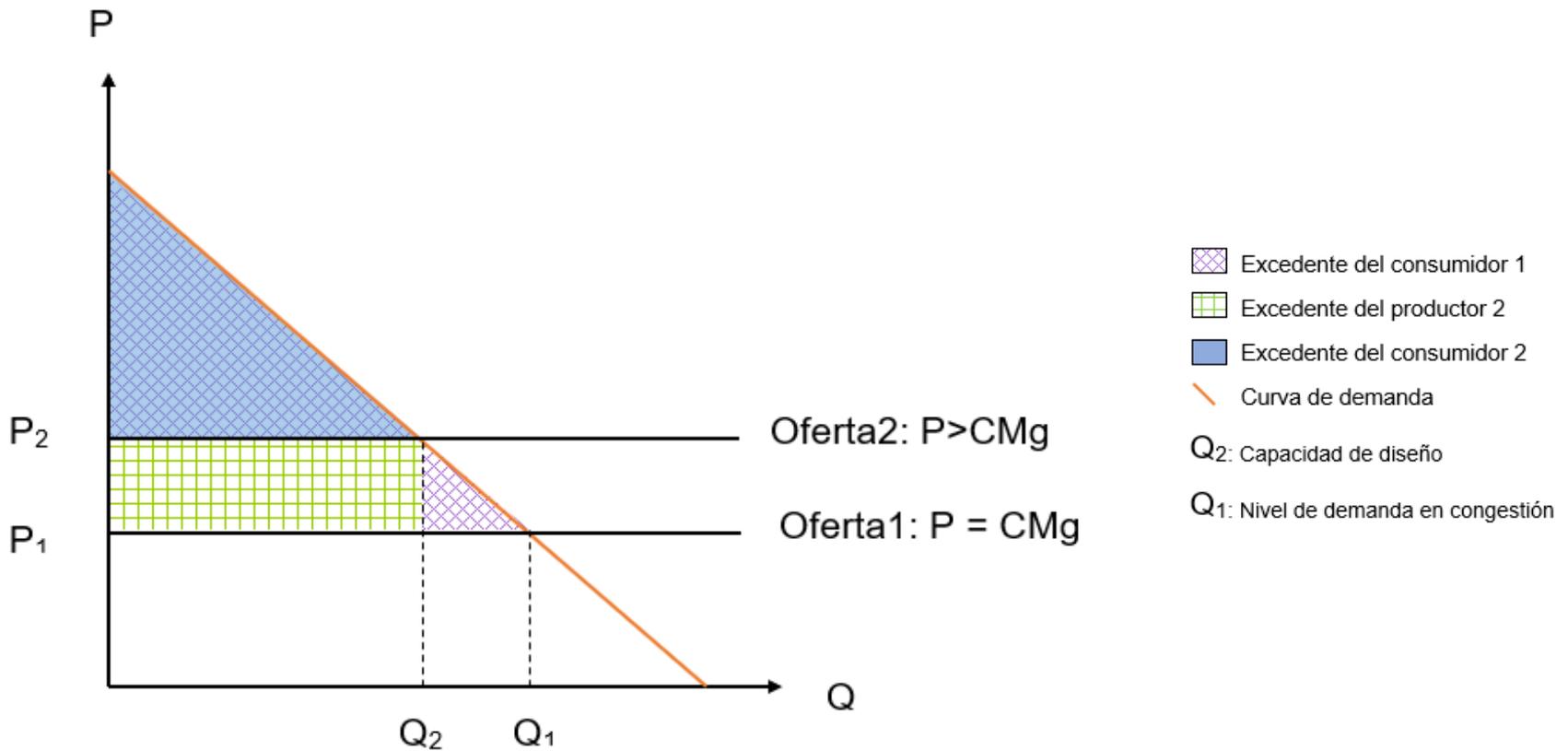


Sources: Esri, HERE, Garmin, USGS, Intermap, INCREMENT P, NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), Swisstopo, OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

ESTACIONES EN CONGESTIÓN EN EL PERIODO PUNTA DE LA TARDE



MARCO ANALÍTICO



ESTIMACIÓN FUNCIÓN DEMANDA

$$\text{Log}(en)_{hed} = \beta_0 + \beta_1 \text{LgRm} + \beta_2 \text{Unmply} + \beta_3 \text{LgTf} + \beta_4 \text{controles} + e_{ij}$$

LgRm = logaritmo del valor de la remuneración en precios constantes

Unmply = tasa de desempleo en Bogotá

LgTf = logaritmo de la tarifa al usuario a precios constantes

Controles: estación, franja horaria, día de la semana, mes, año, interacción estación-año

Periodo analizado: 2010-2017

Errores estándar robustos.

ESTIMACIÓN FUNCIÓN DEMANDA

Linear regression

Number of obs = 13195086
 F(1257,13193828) = 16818.01
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.6045
 Root MSE = .97552

log_en_	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
log_rem_troncal_millones_cons	.1444664	.0025712	56.19	0.000	.139427	.1495059
unemployment	-.0243785	.0007117	-34.25	0.000	-.0257735	-.0229836
log_tarifa_cons	-.3087607	.0049223	-62.73	0.000	-.3184081	-.2991132

COSTO DE LA CONGESTIÓN: FRANJA MAÑANA

Estación	Franja	Hora	Congestión (en/capacidad)	Capacidad (pax/m ²)	Entradas (pax/30 mins)	Área (m ²)	Densidad (Pax/m ²)	Exceso (pax/30 mins)	DELTAQ	DELTAP
Terreros	Mañana	5:30 - 6:00	2,7	1.191	3.168	238	13,3	1977	-62%	2296%
Terreros	Mañana	6:00 - 6:30	2,5	1.191	3.034	238	12,7	1843	-61%	1982%
Terreros	Mañana	6:30 - 7:00	2,2	1.191	2.671	238	11,2	1480	-55%	1277%
San Mateo	Mañana	6:00 - 6:30	2,2	1.916	4.295	383	11,2	2379	-55%	1276%
San Mateo	Mañana	5:30 - 6:00	2,1	1.916	4.115	383	10,7	2199	-53%	1097%
San Mateo	Mañana	6:30 - 7:00	2,1	1.916	4.018	383	10,5	2103	-52%	1008%
Terreros	Mañana	5:00 - 5:30	2,0	1.191	2.349	238	9,9	1158	-49%	807%
San Mateo	Mañana	7:00 - 7:30	1,8	1.916	3.451	383	9,0	1535	-44%	576%
San Mateo	Mañana	5:00 - 5:30	1,8	1.916	3.407	383	8,9	1492	-44%	549%
Terreros	Mañana	7:00 - 7:30	1,6	1.191	1.865	238	7,8	674	-36%	329%
Avenida Ciudad De Cali	Mañana	7:00 - 7:30	1,6	984	1.618	197	8,2	634	-39%	403%
Avenida Ciudad De Cali	Mañana	6:30 - 7:00	1,5	984	1.467	197	7,5	483	-33%	266%
La Campiña	Mañana	7:00 - 7:30	1,4	1.192	1.700	238	7,1	508	-30%	216%
La Campiña	Mañana	6:30 - 7:00	1,4	1.192	1.628	238	6,8	436	-27%	175%

COSTO DE LA CONGESTIÓN: FRANJA TARDE

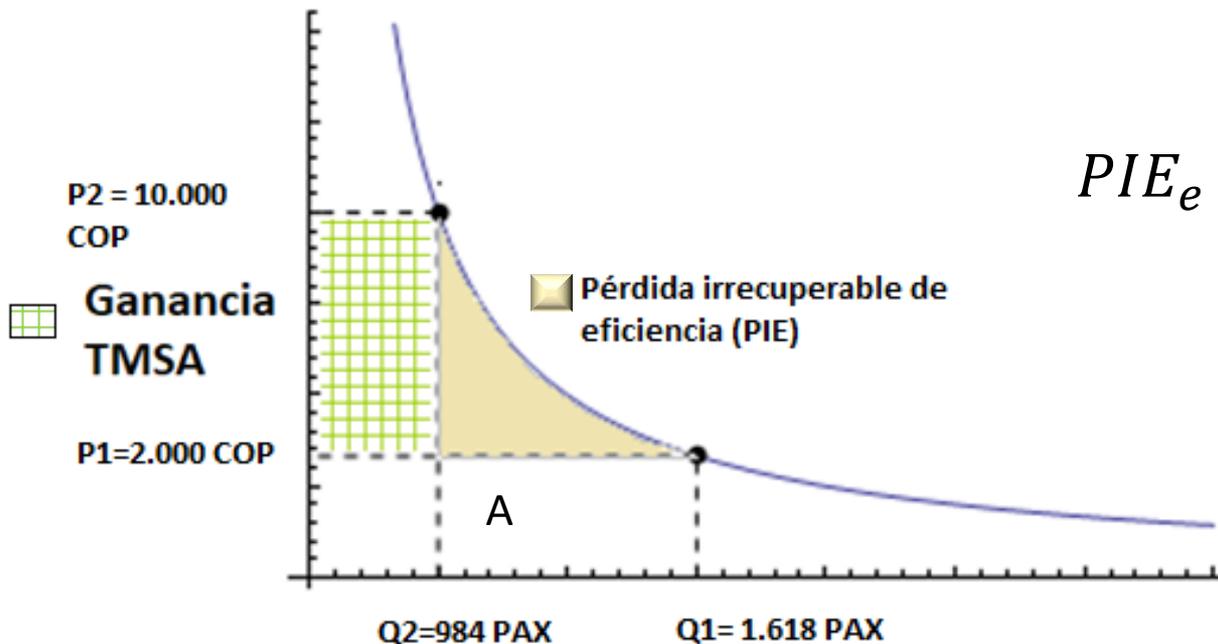
Estación	Franja	Hora	Congestión (en/capacidad)	Capacidad (pax/m2)	Entradas (pax/30 mins)	Área (m2)	Densidad (Pax/m2)	Exceso (pax/30 mins)	DELTAQ	DELTAP
Las Aguas	Tarde	17:00 - 17:30	2,4	1125	2725	225	12,1	1600	-59%	1670%
Las Aguas	Tarde	21:30 - 22:00	2,2	1125	2466	225	11,0	1341	-54%	1180%
Las Aguas	Tarde	17:30 - 18:00	2,0	1125	2228	225	9,9	1103	-50%	820%
Las Aguas	Tarde	18:00 - 18:30	1,9	1125	2082	225	9,3	957	-46%	639%
Las Aguas	Tarde	16:00 - 16:30	1,8	1125	2080	225	9,2	955	-46%	636%
Las Aguas	Tarde	16:30 - 17:00	1,7	1125	1962	225	8,7	837	-43%	509%
Las Aguas	Tarde	18:30 - 19:00	1,7	1125	1925	225	8,6	800	-42%	473%
Las Aguas	Tarde	19:00 - 19:30	1,6	1125	1822	225	8,1	697	-38%	379%
Las Aguas	Tarde	21:00 - 21:30	1,5	1125	1669	225	7,4	544	-33%	260%
Las Aguas	Tarde	20:00 - 20:30	1,5	1125	1643	225	7,3	518	-32%	242%
Las Aguas	Tarde	19:30 - 20:00	1,4	1125	1542	225	6,9	417	-27%	179%
Calle 106	Tarde	17:30 - 18:00	1,4	1301	1811	260	7,0	510	-28%	193%
Calle 100	Tarde	18:00 - 18:30	1,4	3261	4427	652	6,8	1166	-26%	170%
Calle 100	Tarde	17:30 - 18:00	1,3	3261	4271	652	6,5	1010	-24%	140%
Calle 72	Tarde	17:30 - 18:00	1,3	2486	3278	497	6,6	792	-24%	145%
Las Aguas	Tarde	13:00 - 13:30	1,3	1125	1473	225	6,5	348	-24%	140%

COSTO DE LA CONGESTIÓN: Av. Ciudad de Cali 7:00-7:30 am

La pérdida del usuario es de alrededor de 9,5 millones COP.

La pérdida irre recuperable de eficiencia es de alrededor de 1,6 millones COP.

La ganancia del gestor es del orden de 7,9 millones COP.



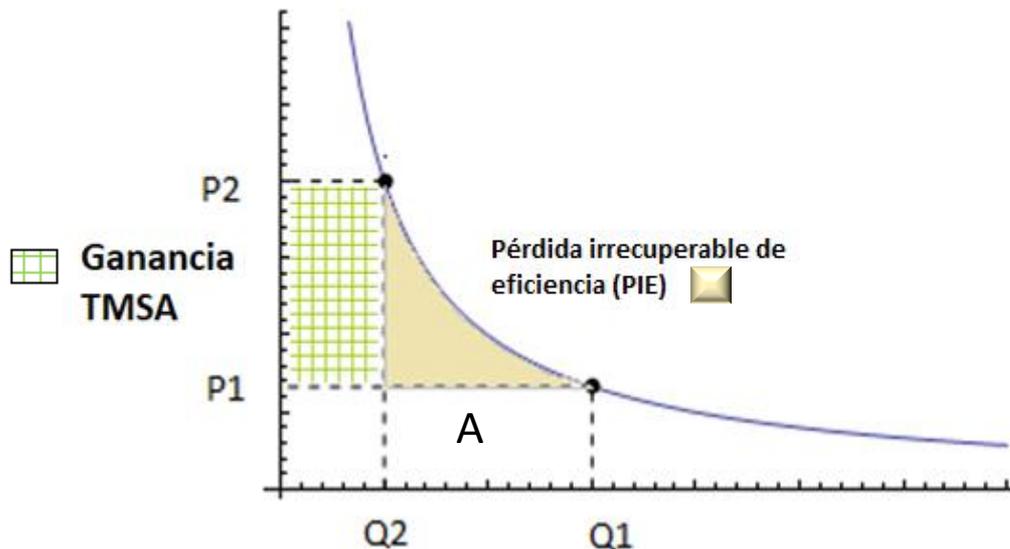
$$PIE_e = \int_{Q_1}^{Q_2} \frac{10^{\delta_e}}{Q^{1/0.3}} dQ - A_e$$

COSTO DE LA CONGESTIÓN EN EL SISTEMA

La pérdida total del usuario en el sistema a causa de la congestión es de alrededor de **801, 2 millones** COP al día.

La pérdida irrecuperable de eficiencia en el sistema es del orden de **153,8 millones** COP al día.

La ganancia total del gestor es del orden de **647,3 millones** COP al día.



$$PIE_e = \int_{Q_1}^{Q_2} \frac{10^{\delta_e}}{Q^{1/0.3}} dQ - A_e$$

EFECTOS AGREGADOS E IMPLICACIONES DE POLÍTICA

Se deberá internalizar la externalidad de la congestión buscando efectos redistributivos

- El excedente positivo del ente gestor debería ser usado como fuente de financiamiento de políticas públicas de transporte como **subsidios cruzados** a la población de menores ingresos para **cerrar las brechas de equidad**.
- ...la PIE de cada estación en congestión deberá trasladarse a otras horas o a otras estaciones. Es decir, no debería haber pérdida de demanda en el sistema.

CONCLUSIONES Y EXTENSIONES

- La elasticidad precio-demanda de largo plazo del sistema es de -0,3%
- Una tarifa dinámica por estación podría ser un instrumento para reducir la congestión.
- La ineficiencia producida en el mercado producto de esta política deberá ser contrarrestada a través de subsidios cruzados
- Como ejercicio adicional se propone estudiar el impacto de la tarifa dinámica en la equidad y su efecto spillover sobre las demás estaciones o franjas horarias