



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística



ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD EN REDES URBANAS DE TRANSPORTE MEDIANTE EL DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO (MFD)

Renato Munita Guajardo
Juan Carlos Herrera Maldonado

Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres



Generar conocimiento de excelencia para evitar que los eventos extremos de la naturaleza se transformen en desastres.

Motivación

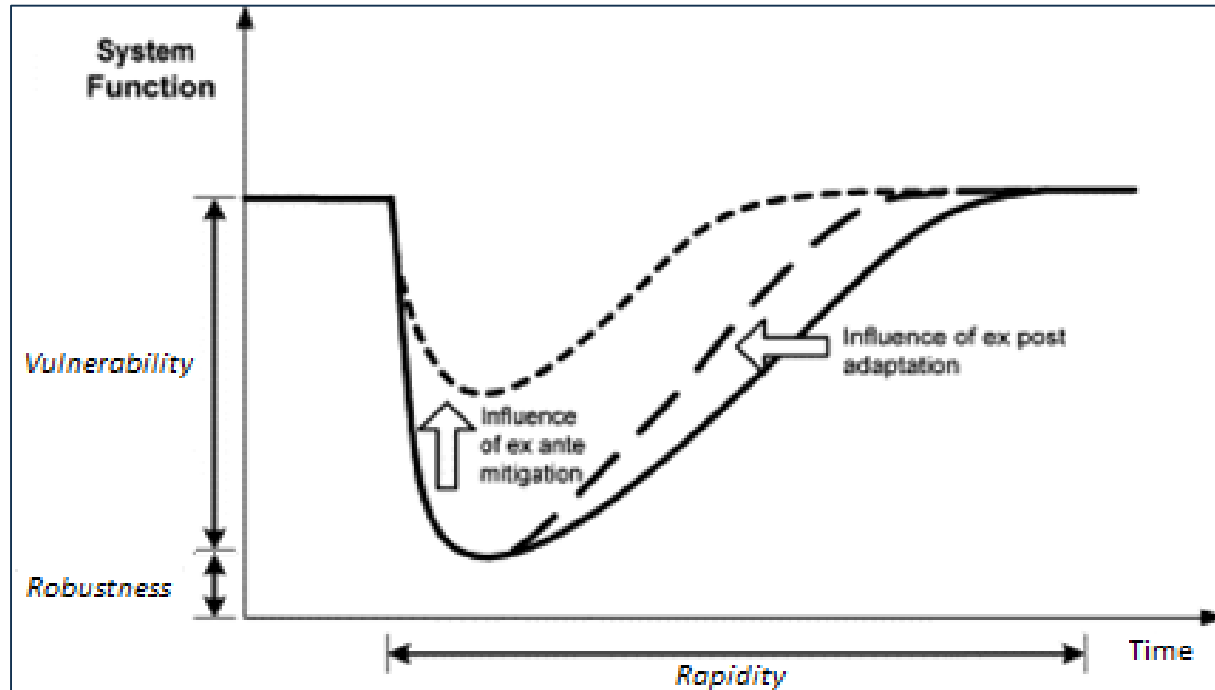


Motivación



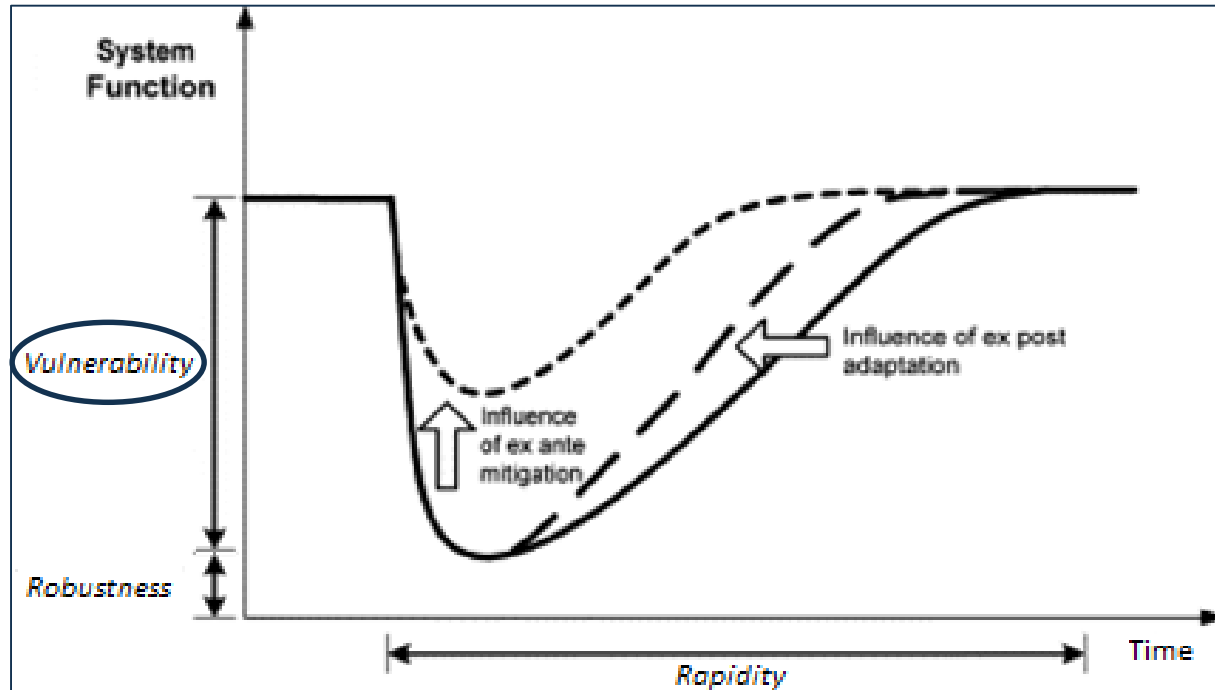
- Desde 1995 más de 8 sismos por sobre los 7,1MW
- 27/02/2010 8,8MW → 1.554 Km de caminos cortados.
(Gobierno de Chile. 2010)
- Conservación vial RM 2016 → 4.744.799.000 pesos.
(SERVIU, 2016)

Motivación



McDaniels et al. 2008

Motivación



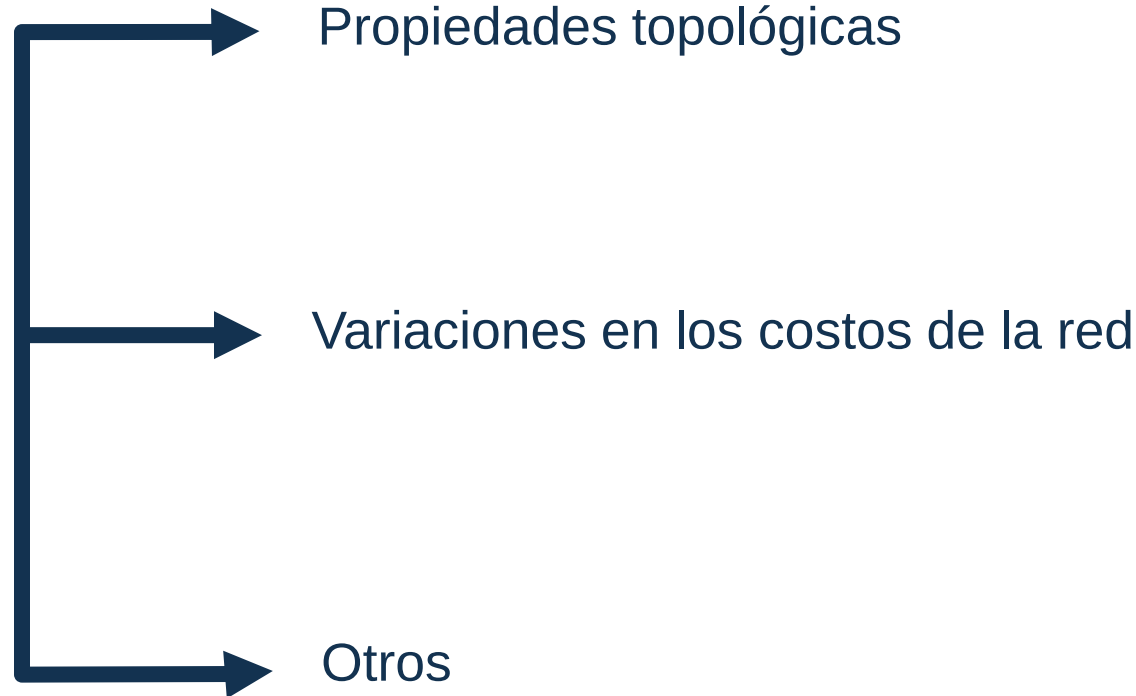
McDaniels et al. 2008

Vulnerabilidad

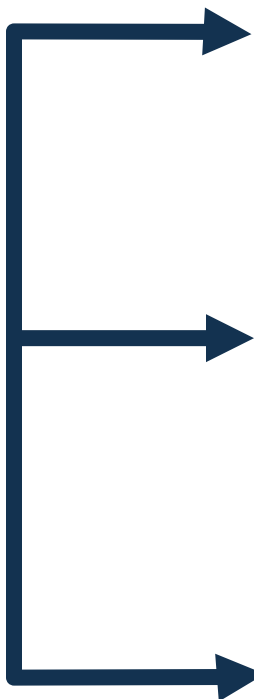


Susceptibilidad a que un evento pueda resultar en reducciones considerables en la *serviciabilidad* de la red urbana.
(Calvert y Snelder, 2017)

Metodologías usadas en la literatura



Metodologías usadas en la literatura



Propiedades topológicas

- Lleras-Echeverri y Sánchez-Silva (2001)
- Freiria, Ribeira y Tavares (2015)
- Wei, Zhang y Mahadevan (2018)

Variaciones en los costos de la red

Otros

Propiedades topológicas



- Modelación de la red mediante un grafo.
- Indicador de accesibilidad a cada nodo.
- No capturan las interacciones entre los flujos de los arcos.
- No captan la congestión.
- Los insumos requeridos son de fácil obtención.

Metodologías usadas en la literatura

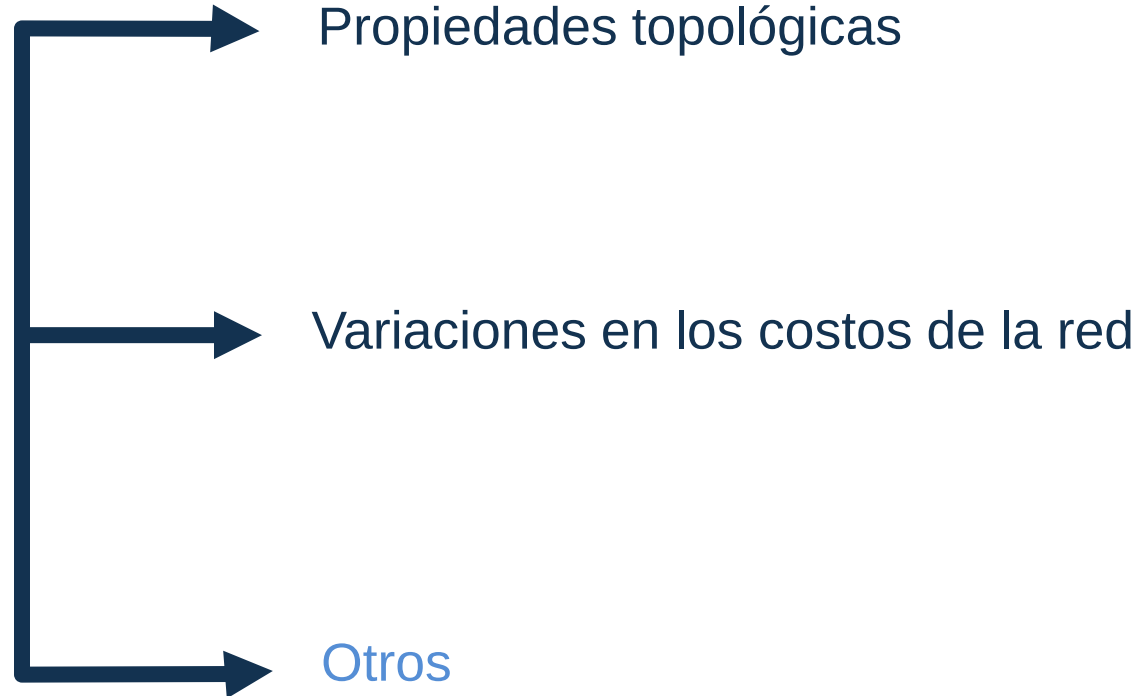


Variaciones en los costos de la red



- Definen las funciones de costos en función de los flujos.
- Para encontrar los costos se debe resolver el equilibrio de tráfico.
- Logran captar las interacciones entre los flujos de los arcos.
- No captan la congestión de manera apropiada.
- Útil para zonas interurbanas.

Metodologías usadas en la literatura



MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



- Kim y Yeo (2016, 2017).
- Singh, Sinha, Vijhania y Pahuja (2018) .

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



- Kim y Yeo (2016, 2017).
- Singh, Sinha, Vijhania y Pahuja (2018) .

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



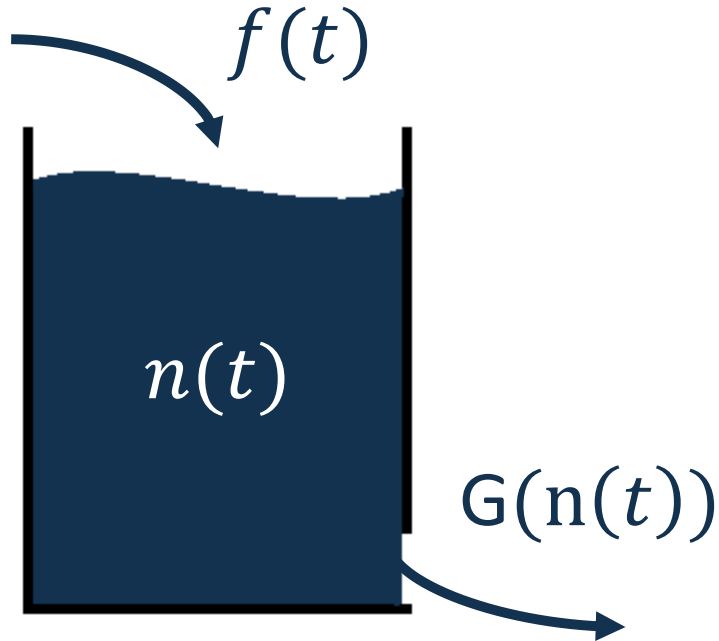
¿Qué es el MFD?

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



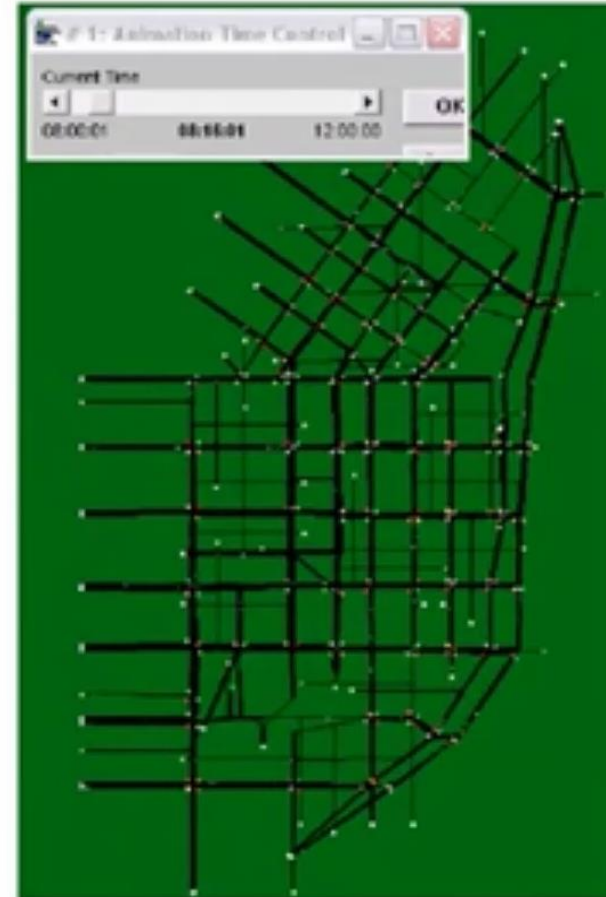
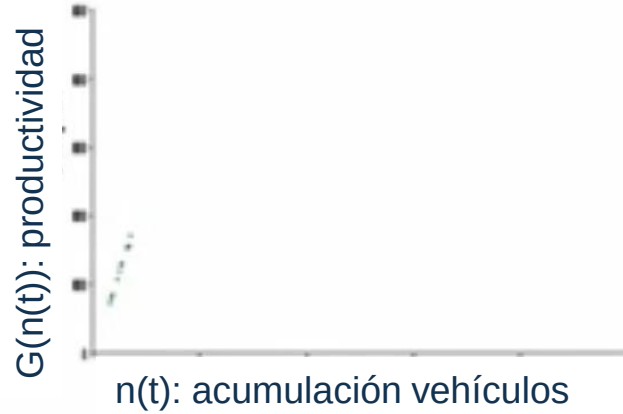
- Representa la tasa de finalización de viajes (productividad) en función de la acumulación presente en la red.
- Muestra los estados de tráfico que se pueden observar en una zona.
- Cada estado de tráfico se caracteriza por una determinada acumulación de vehículos en esa zona y su respectiva productividad.

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



- $f(t)$: Tasa de entrada al instante t .
- $n(t)$: Acumulación al instante t .
- $G(n(t))$: Tasa de salida al instante t .
- $\frac{dn}{dt} = f(t) - G(n(t)), \forall t \geq 0$

Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)



Geroliminis and Daganzo (2007)

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



- MFD no depende de una matriz O/D (Buisson y Ladier, 2009).
- MFD depende de 2 factores: largo de las calles y configuración de semáforos (Laval y Castellón, 2015).
- MFD bien definido existirá si la demanda varía de manera lenta y se distribuye homogéneamente en la red (Daganzo y Geroliminis, 2008).

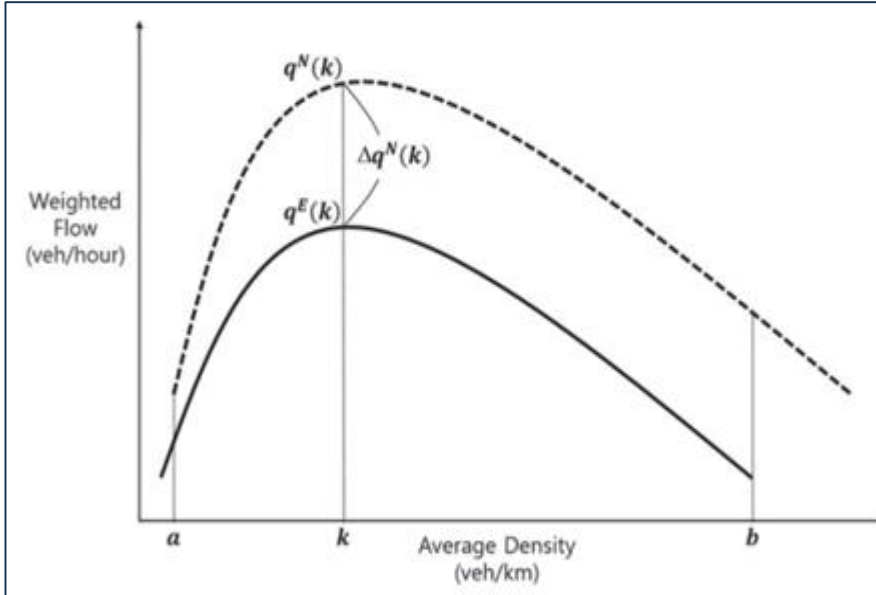
MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



Kim y Yeo (2016, 2017):

- Simulaciones realizadas en la ciudad de Seúl.
- 10 escenarios  cierre de un arco de manera aleatoria.

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



Kim y Yeo (2017).

$$IV = \int_a^b \Delta q(k) / \int_a^b q^N(k)$$

$$\Delta q(k) = q^N(k) - q^E(k)$$

MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico



Kim y Yeo (2016, 2017):

- Simulaciones realizadas en la ciudad de Seúl.
- 10 escenarios  cierre de un arco de manera aleatoria.
- MFD logra captar pérdidas de capacidad desde 2.7% hasta un 14.8%.
- Resultados no generalizables.

¿Existe una herramienta genérica capaz de medir la vulnerabilidad de una red de transporte urbana sin despreciar la congestión?

Contenido de la presentación



1. Motivación y metodologías usadas en la actualidad
2. Objetivo de investigación
3. Metodología
4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Objetivo de investigación



Objetivo: Elaborar una herramienta genérica mediante el MFD capaz de medir la vulnerabilidad de una red urbana, frente a la reducción en la capacidad de operación de a lo menos un arco.

Contenido de la presentación



1. Motivación metodologías usadas en la actualidad
2. Oportunidad de investigación
3. Metodología
4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Desarrollo analítico

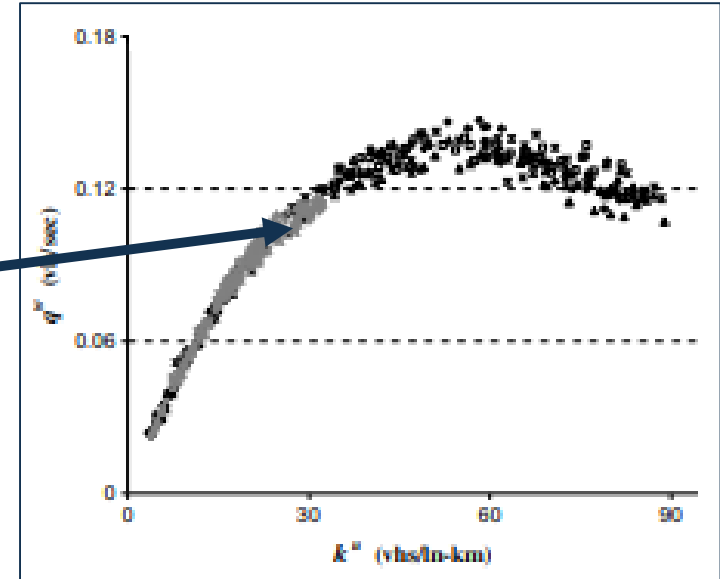


www.plataformaurbana.cl

Desarrollo analítico

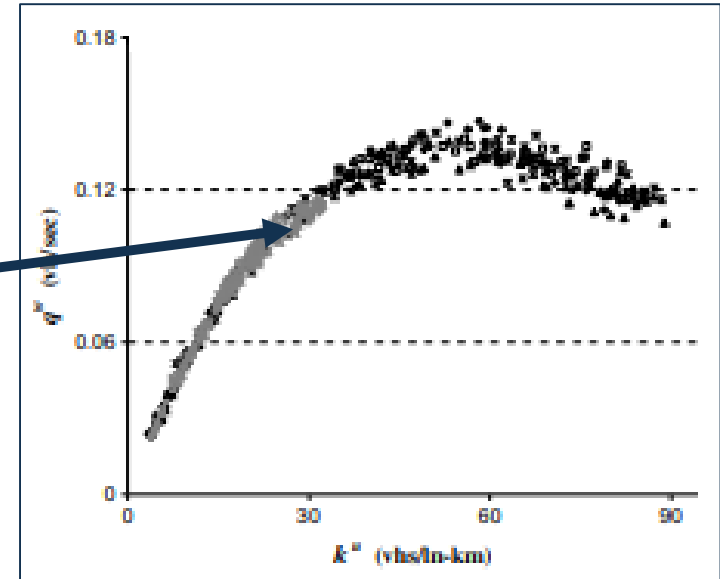
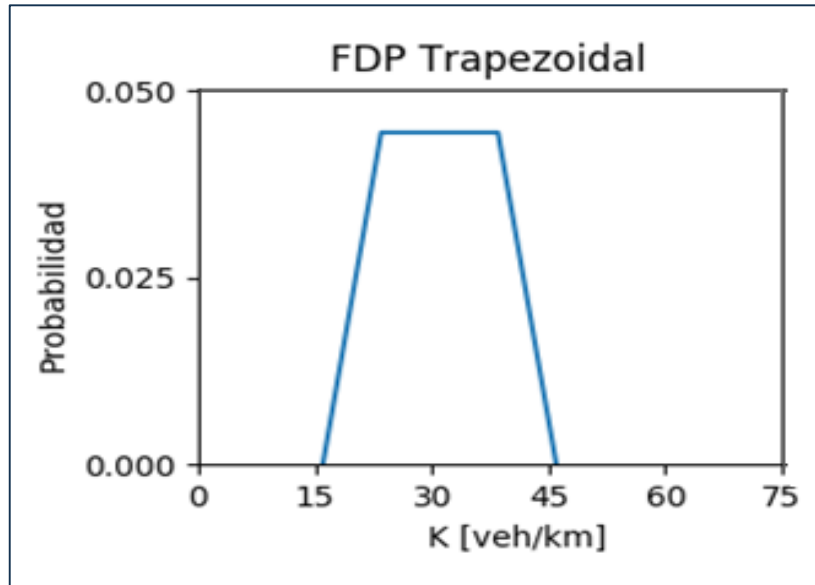


www.plataformaurbana.cl



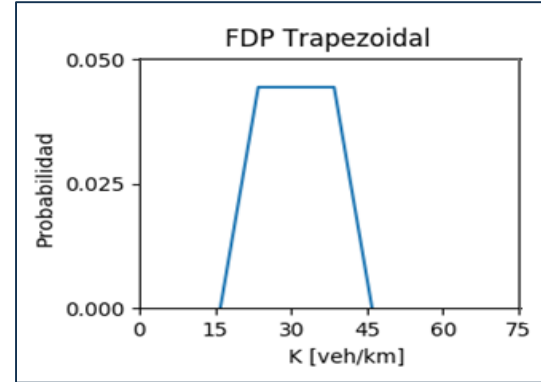
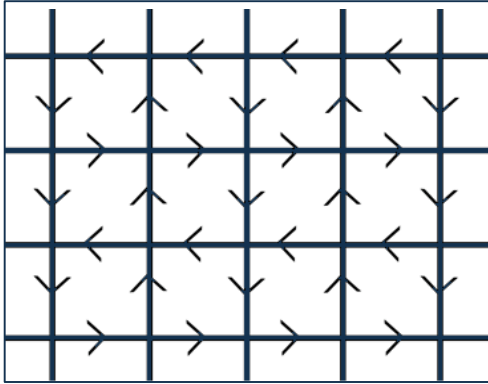
Geroliminis y Daganzo (2008).

Desarrollo analítico

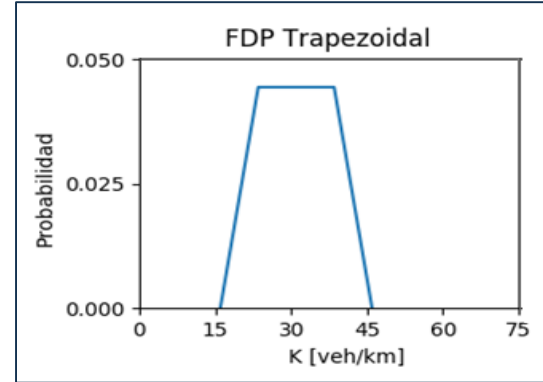
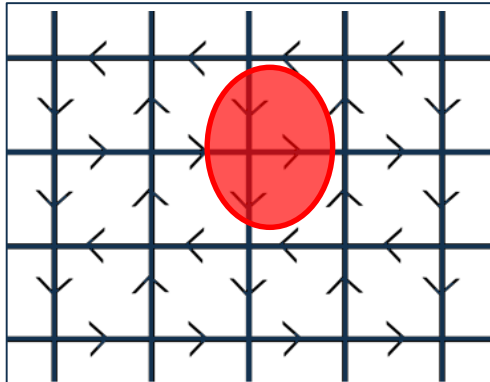
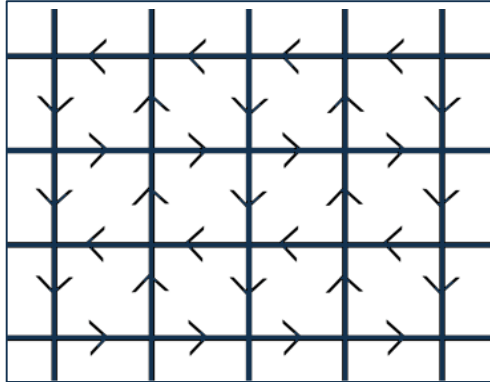


Geroliminis y Daganzo (2008).

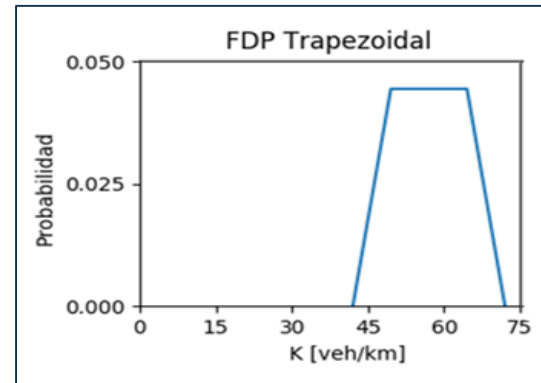
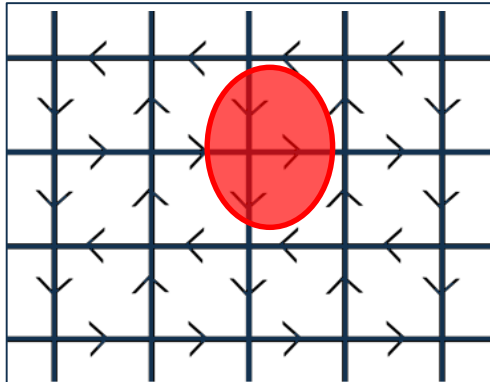
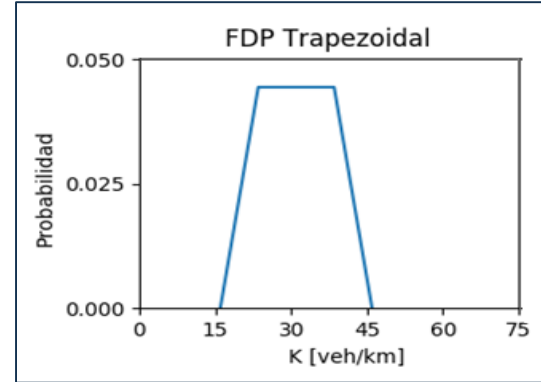
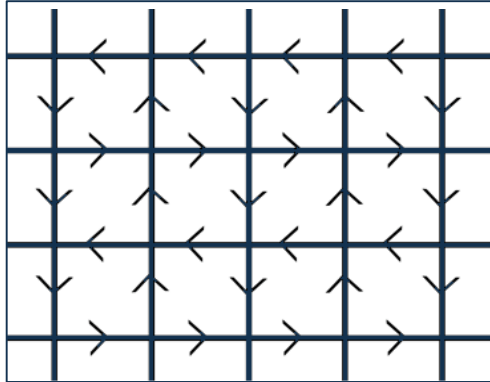
Desarrollo analítico



Desarrollo analítico



Desarrollo analítico



Productividad esperada, Knoop et al. (2015)

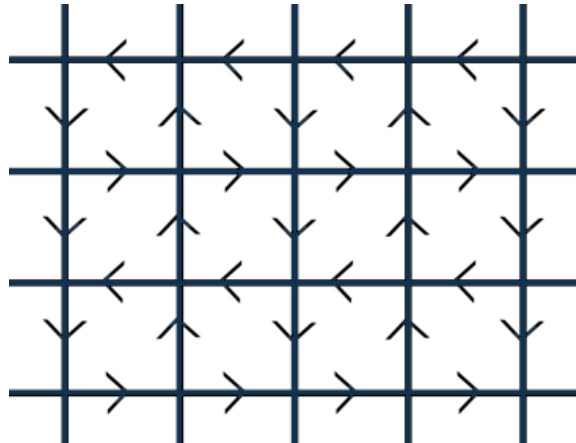


$$P = \int_0^{k_j} f(k) q(k) dk * \#arcos * largo\ arcos$$

Desarrollo analítico

Supuestos:

- Red tipo Manhattan.
- Largo de pistas iguales.



Supuestos:

- Red tipo Manhattan.
- Largo de pistas iguales.

$$P = \int_0^{k_j} f(k) q(k) dk * \#arcos * largo\ arcos$$



$$P = \int_0^{k_j} f(k) q(k) dk$$

Desarrollo analítico

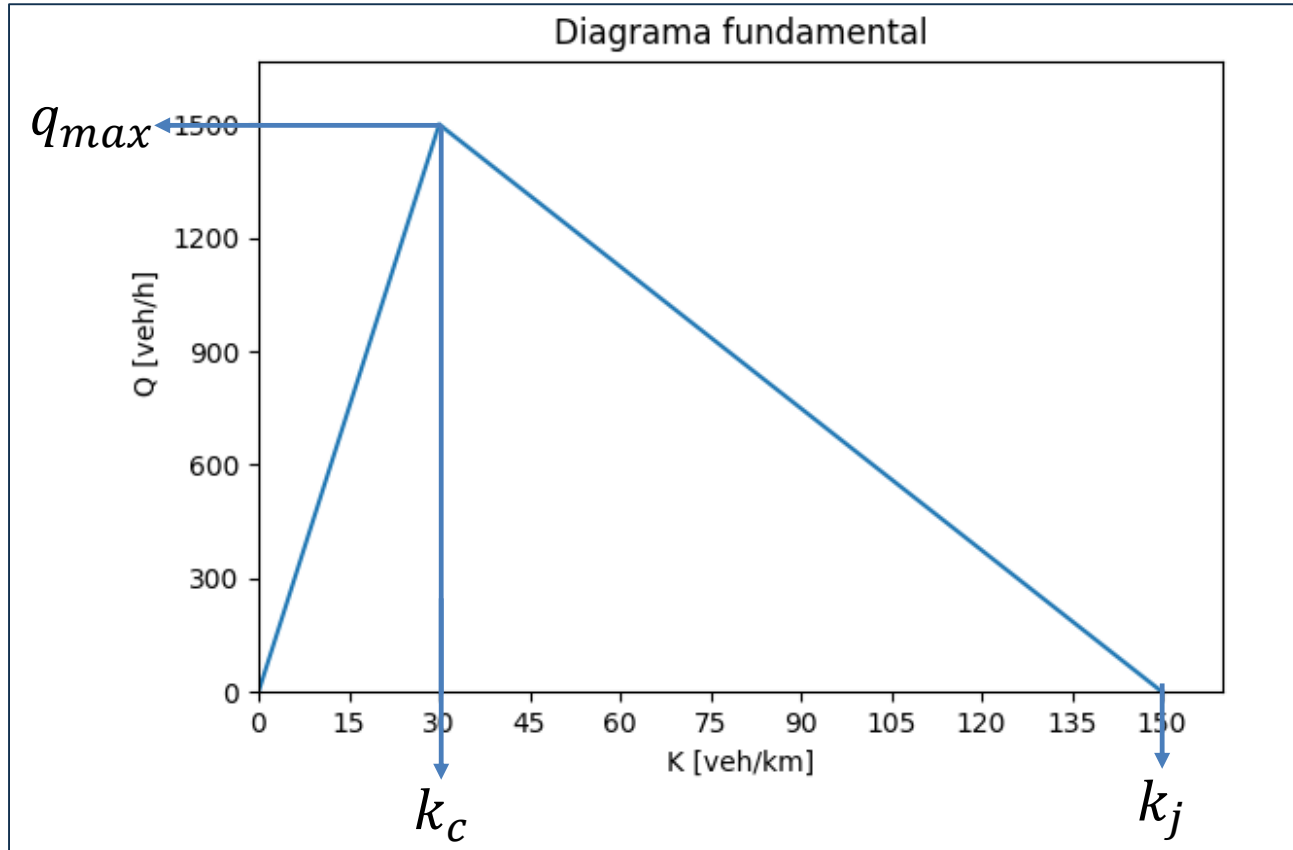


Supuestos:

- Red tipo Manhattan.
- Largo de pistas iguales.
- Pistas regidas por relación fundamental triangular.

$$q(k) = \begin{cases} 50 k & \text{si } 0 \leq k \leq 30 \\ \frac{25}{2} (150 - k) & \text{si } 30 < k \leq 150 \end{cases}$$

Desarrollo analítico



Desarrollo analítico



Supuestos:

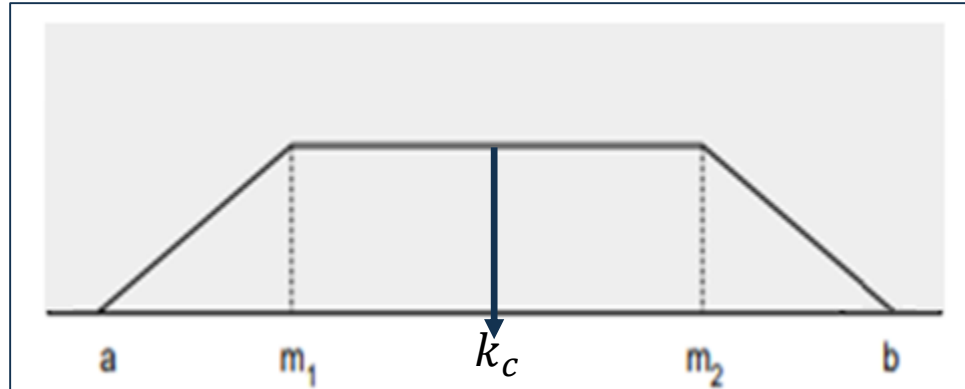
- Red tipo Manhattan.
- Largo de pistas iguales.
- Pistas regidas por diagrama fundamental triangular.
- Fdp de la distribución de las densidades ➡ Trapezoidal isósceles.

Desarrollo analítico

$$(m_1 - a) = (b - m_2)$$

$$m_1 - a = b - m_2 = p/2$$

$$m_2 - m_1 = p$$

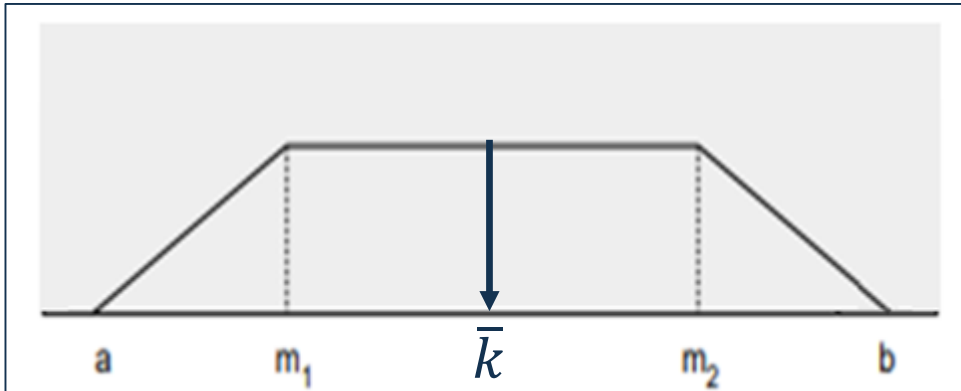


Supuestos:

- Red tipo Manhattan.
- Largo de pistas iguales.
- Pistas regidas por diagrama fundamental triangular.
- Fdp de la distribución de las densidades $\longrightarrow$ Trapezoidal isósceles.
- Un estado de tráfico de la red se representa por una fdp ($f(k)$).

Desarrollo analítico

$$b - a = 2p$$

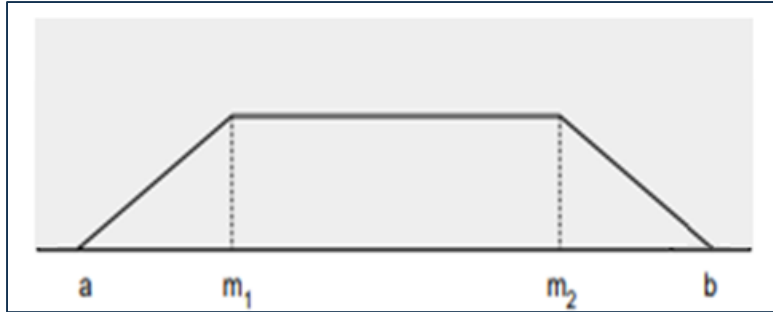


García, Pérez y Gómez (1999).

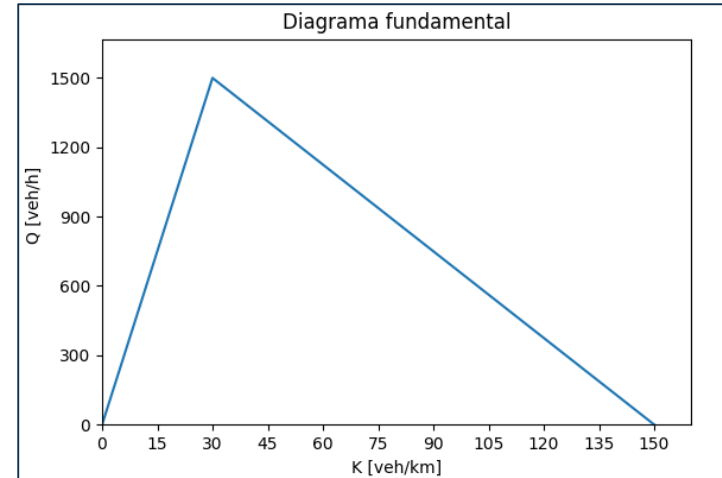
$$(p, \bar{k})$$

Desarrollo analítico

$$P = \int_0^{k_j} f(k) q(k) dk$$

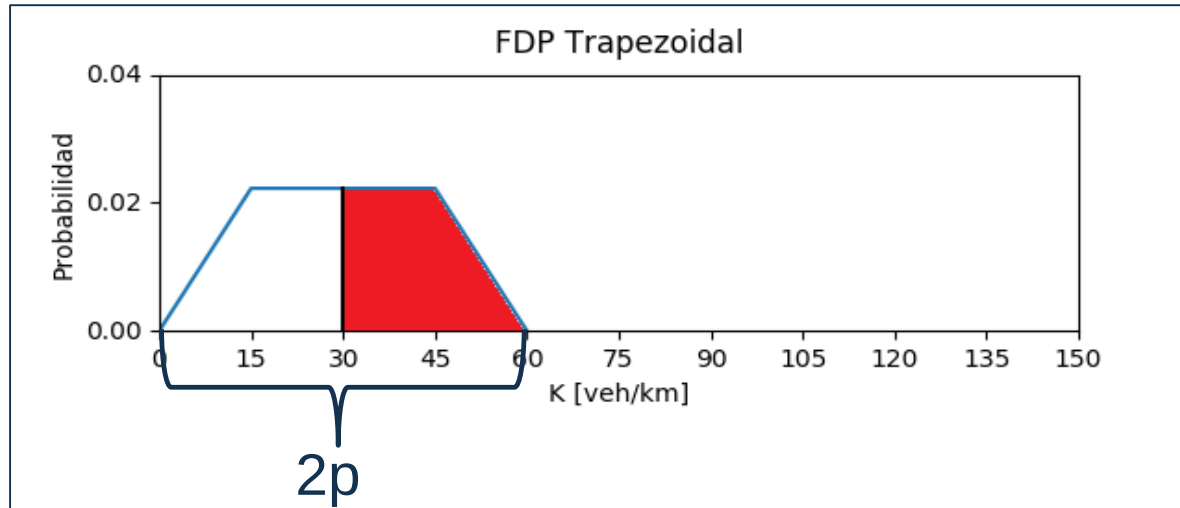


García, Pérez y Gómez (1999).



Desarrollo analítico

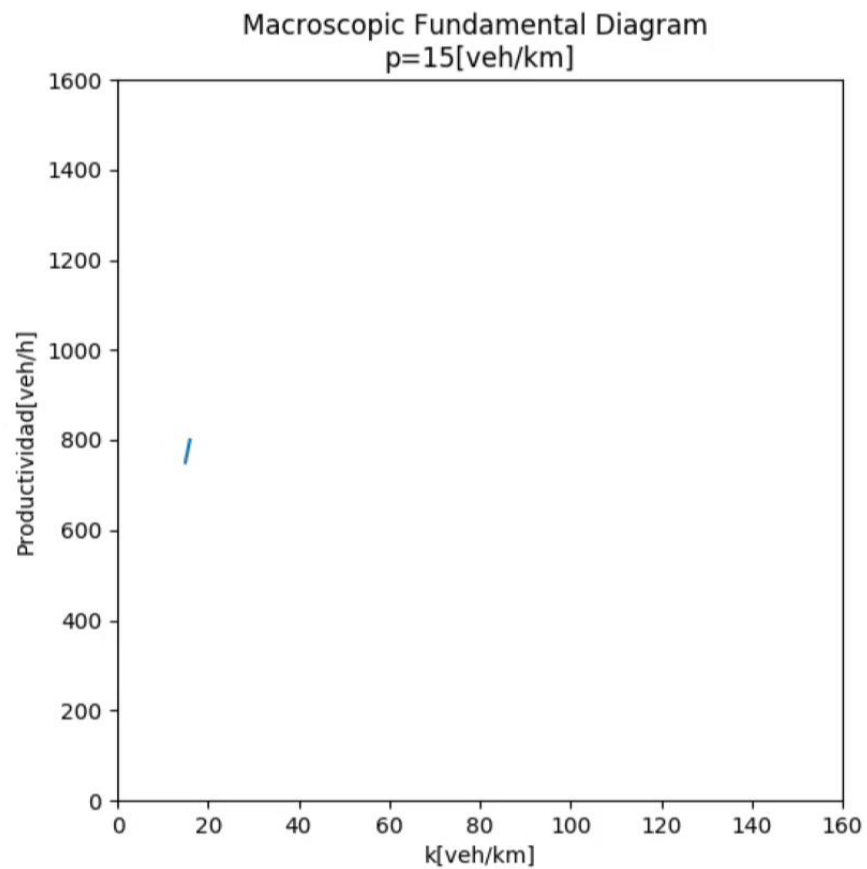
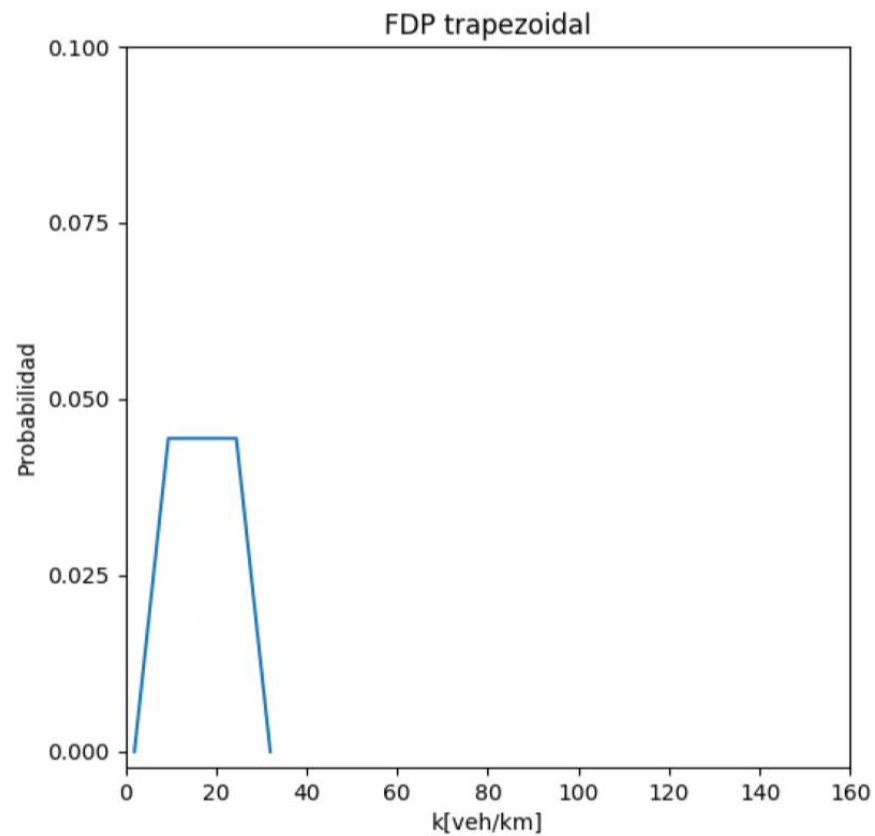
- Vulnerabilidad (ΔP) $\longrightarrow \frac{Pe - Pb}{Pb}$
- Variabilidad (p) $\longrightarrow$ Mitad del rango

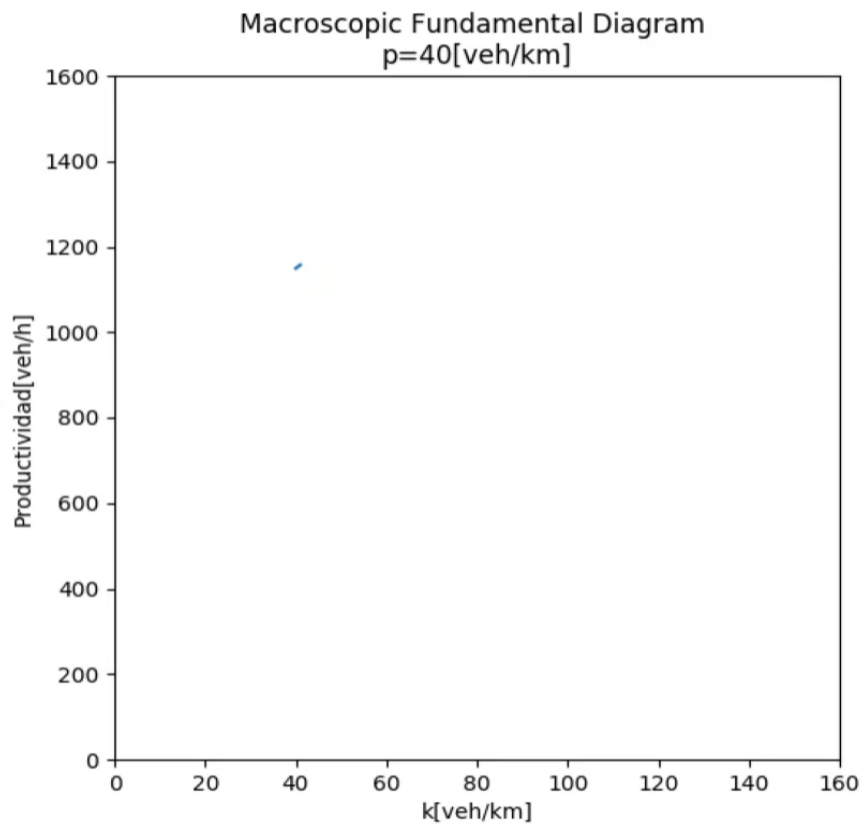
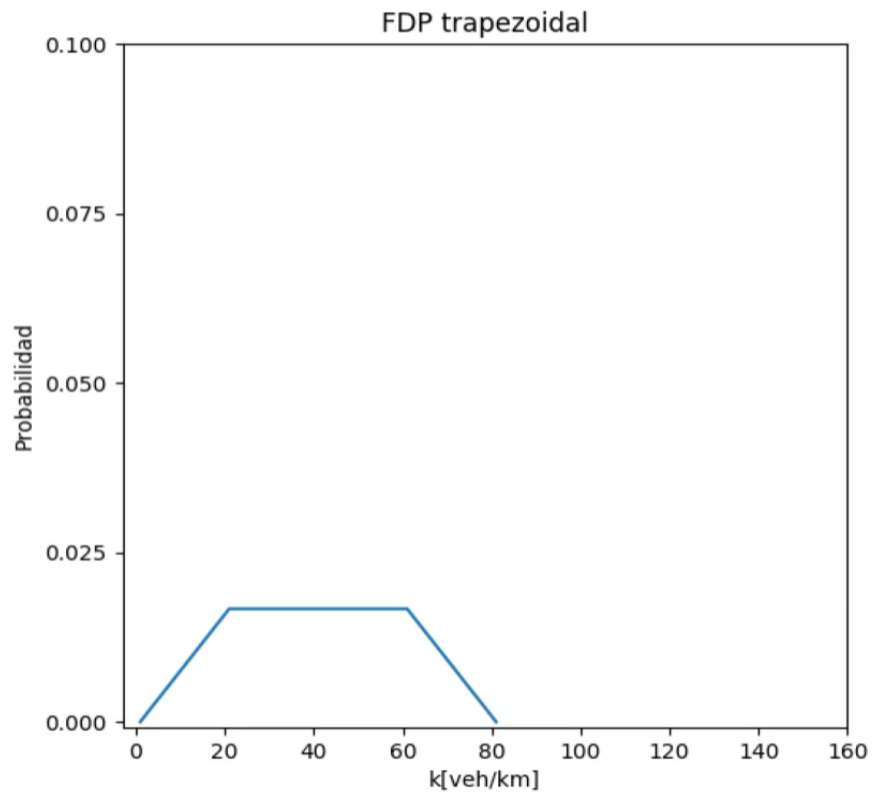


MFD: Diagrama Fundamental Macroscópico

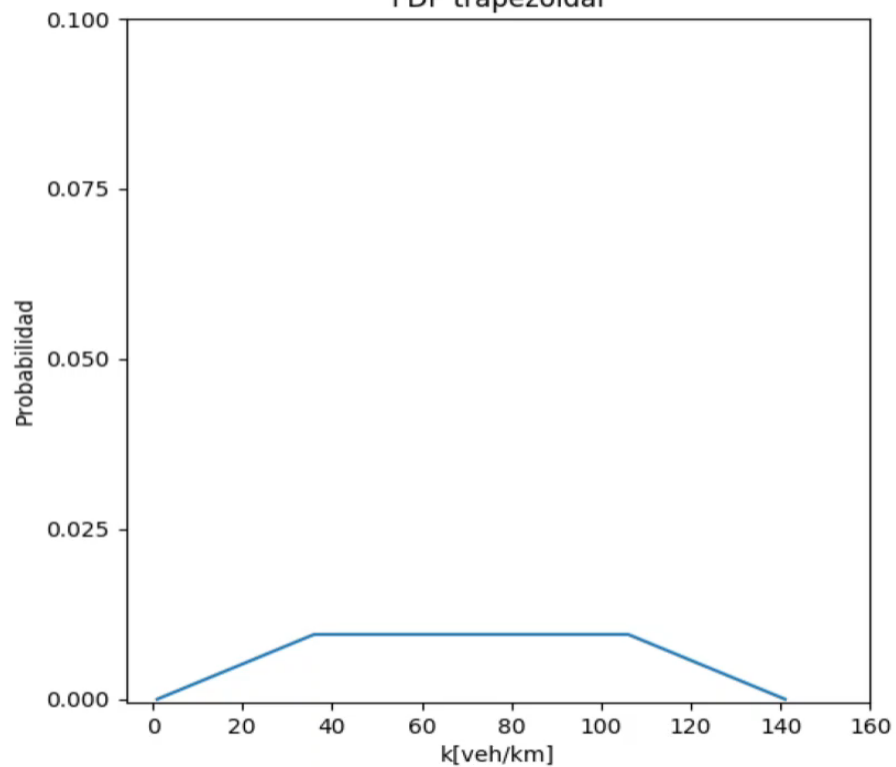


¿Cómo formar el MFD?

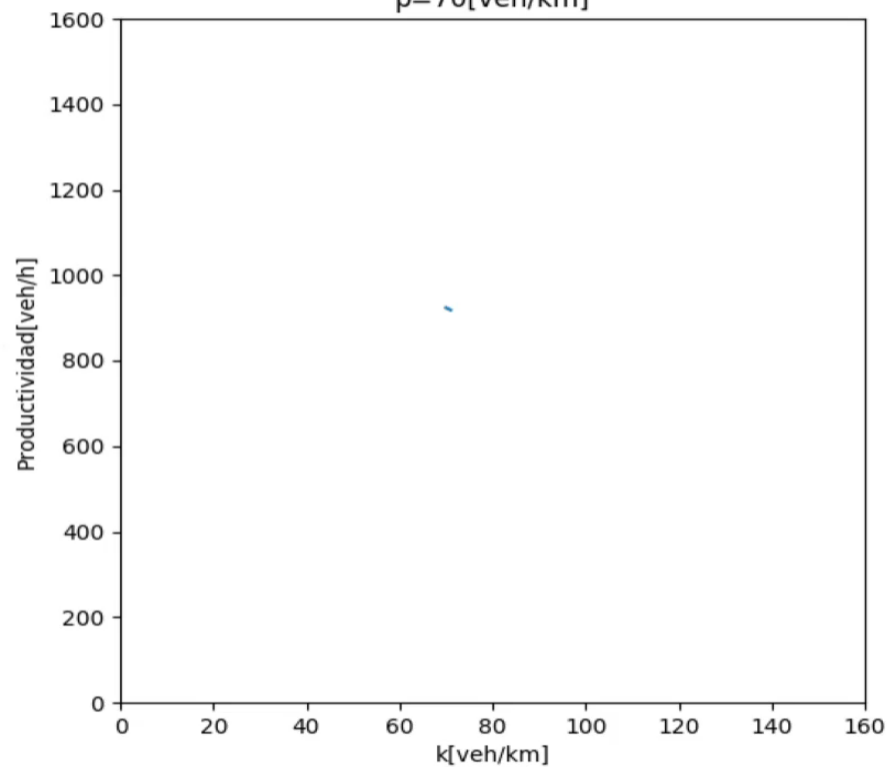




FDP trapezoidal

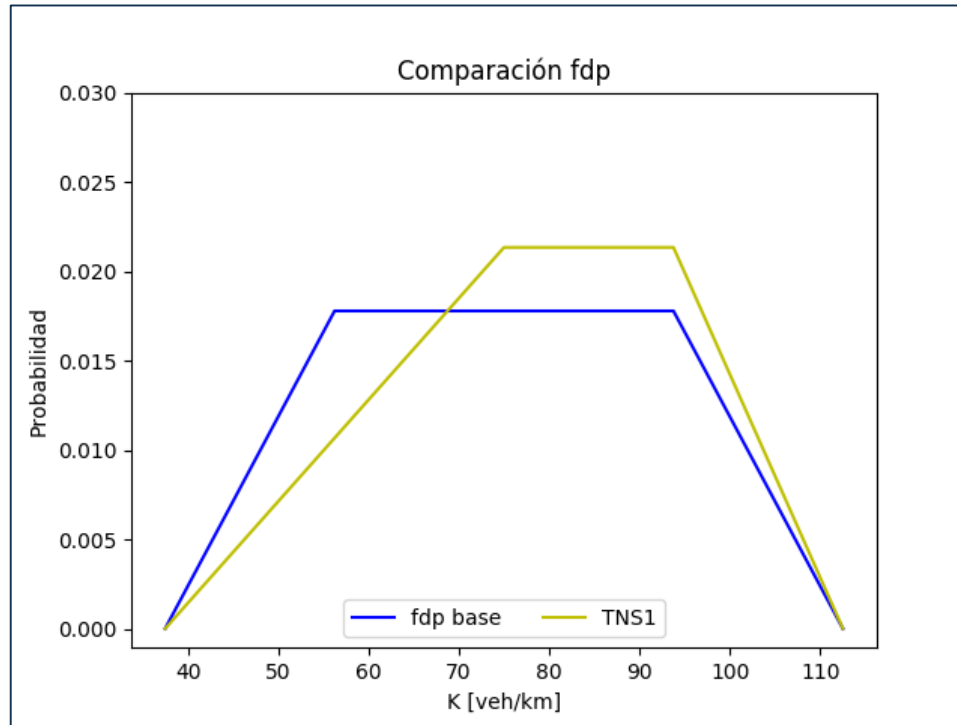


Macroscopic Fundamental Diagram
 $p=70[\text{veh/km}]$

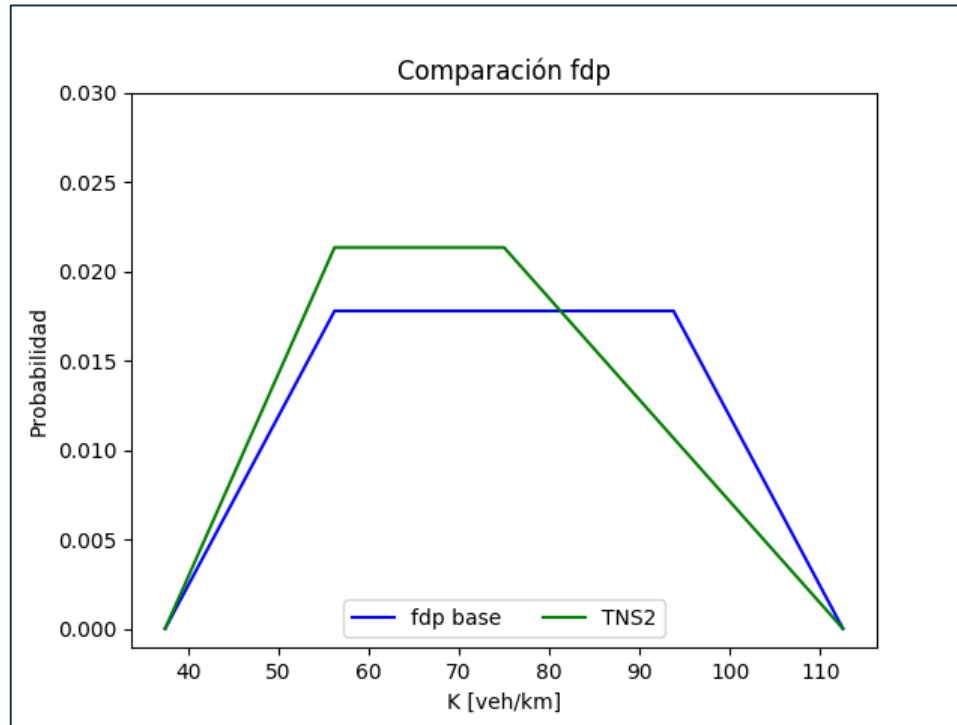


Desarrollo analítico

Sensibilidad a la elección de la fdp:

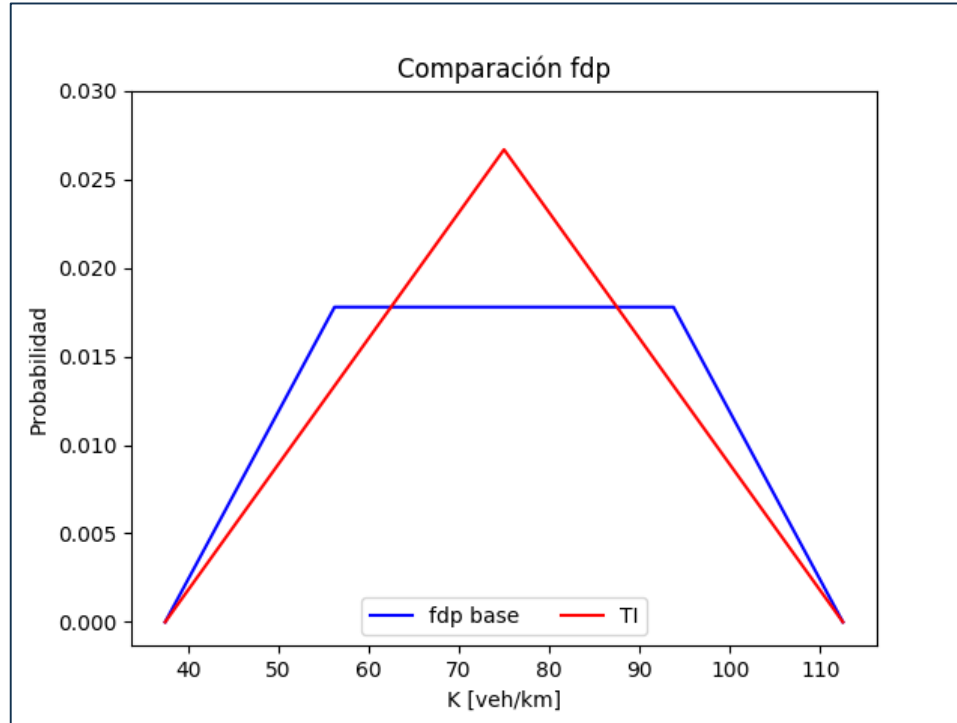


Sensibilidad a la elección de la fdp:



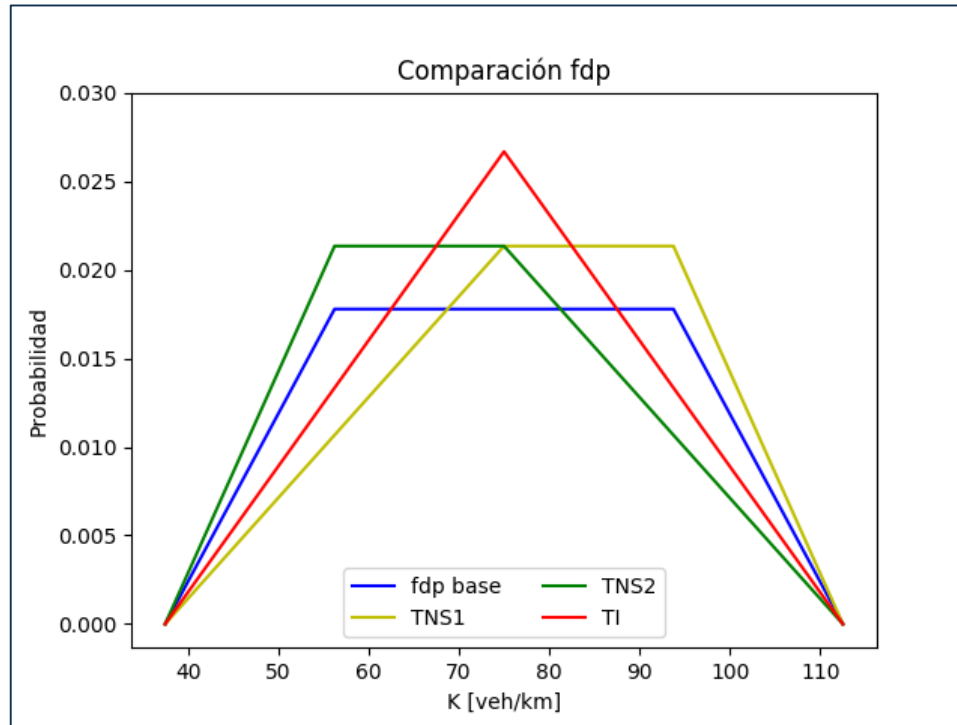
Desarrollo analítico

Sensibilidad a la elección de la fdp:

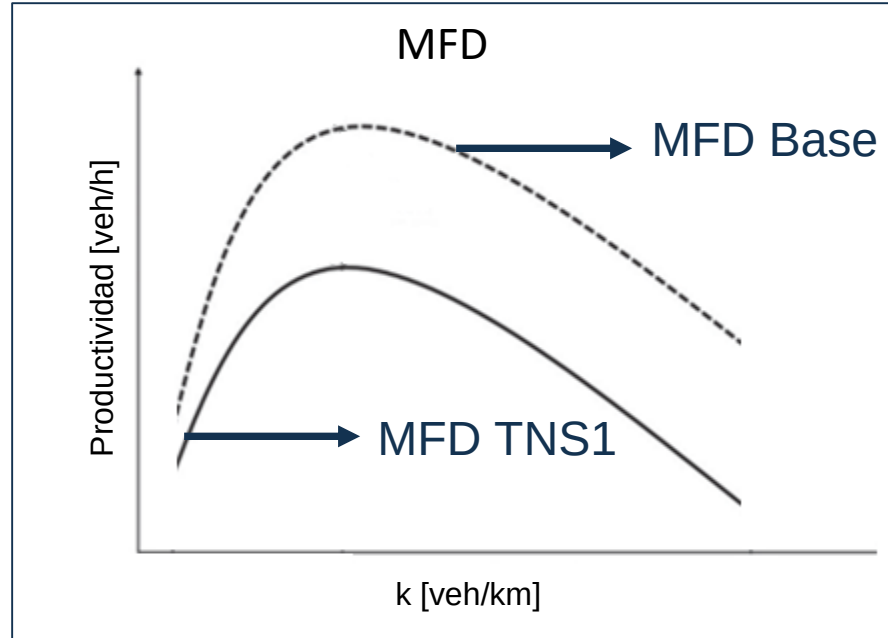


Desarrollo analítico

Sensibilidad a la elección de la fdp:

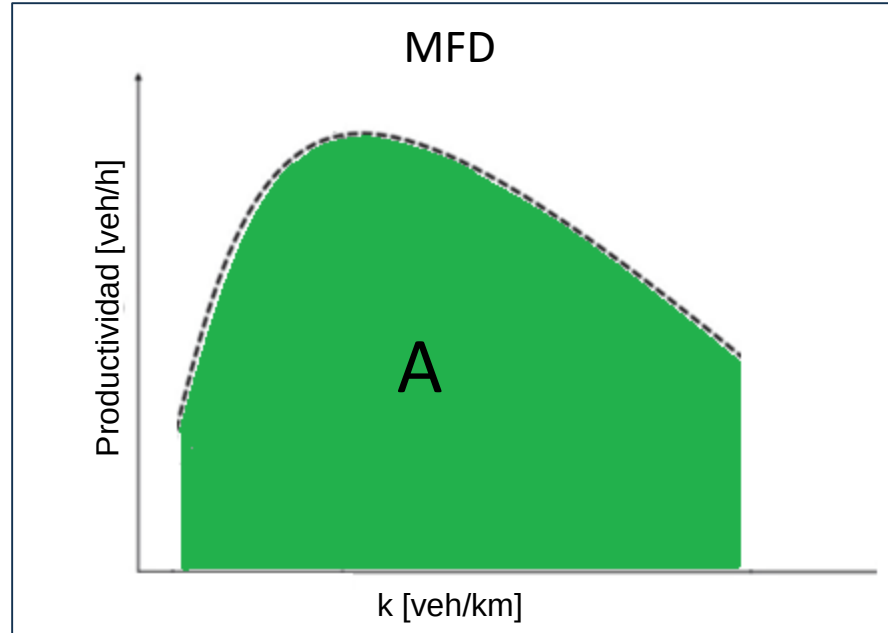


Desarrollo analítico



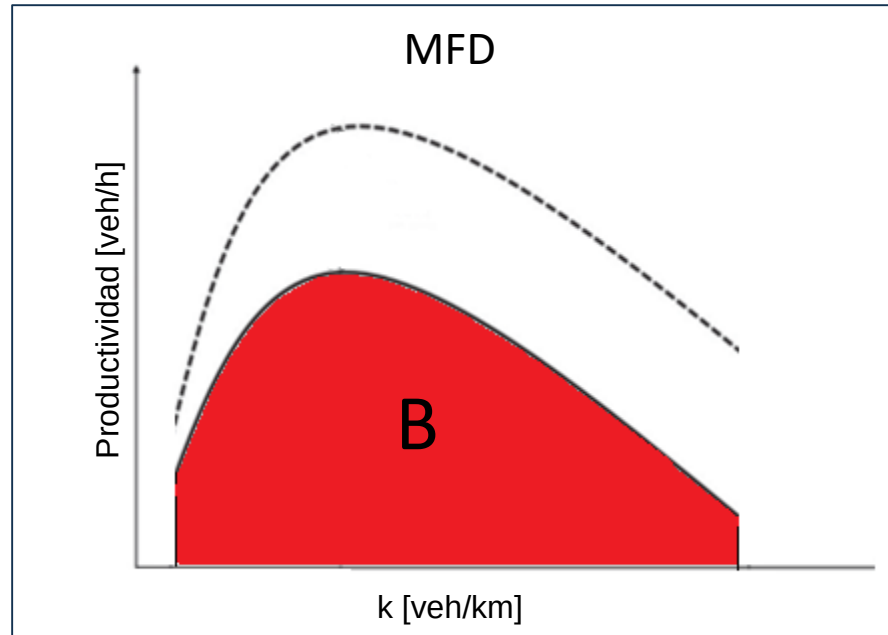
Kim y Yeo (2017).

Desarrollo analítico



Kim y Yeo (2017).

Desarrollo analítico



Kim y Yeo (2017).

Desarrollo analítico



- Indicador sensibilidad $\longrightarrow \frac{B-A}{A} 100\%$

Desarrollo analítico

- Indicador sensibilidad $\longrightarrow \frac{B-A}{A} 100\%$

SENSIBILIDAD MFD FRENTE AL CAMBIO EN LA FDP DE SUS DENSIDADES								
p	5							
TNS1	-0.1 %							
TNS2	0.1 %							
TI	0.0 %							
# ET	141	131	111	91	71	51	31	11

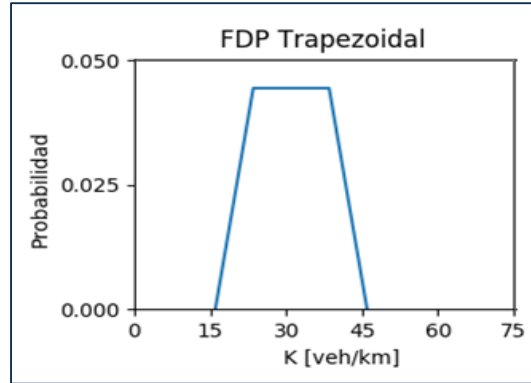
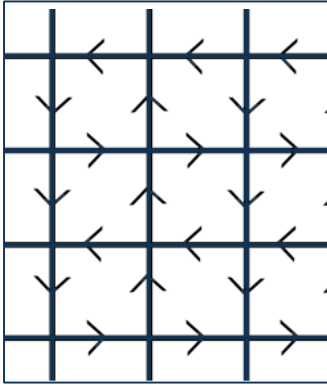
Desarrollo analítico

- Indicador sensibilidad $\longrightarrow \frac{B-A}{A} 100\%$

SENSIBILIDAD MFD FRENTE AL CAMBIO EN LA FDP DE SUS DENSIDADES								
p	5	10	20	30	40	50	60	70
TNS1	-0.1 %	-0.3 %	-1.3 %	-2.8 %	-4.4 %	-5.8 %	-7.1 %	-7.7 %
TNS2	0.1 %	0.4 %	1.7 %	3.4 %	4.9 %	6.3 %	7.6 %	8.8 %
TI	0.0 %	0.1 %	0.5 %	0.7 %	0.7 %	0.6 %	0.7 %	1.3 %
# ET	141	131	111	91	71	51	31	11

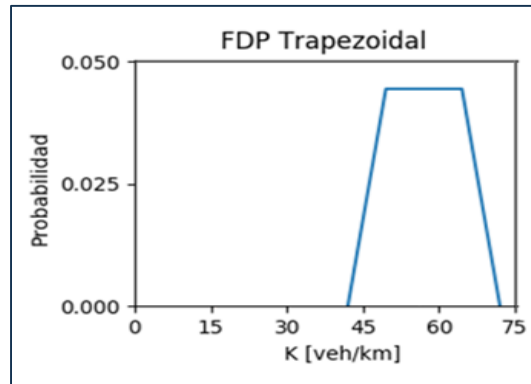
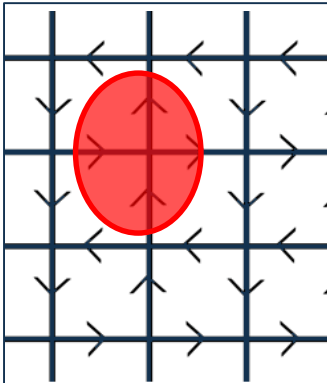
Desarrollo analítico

$P_b =$



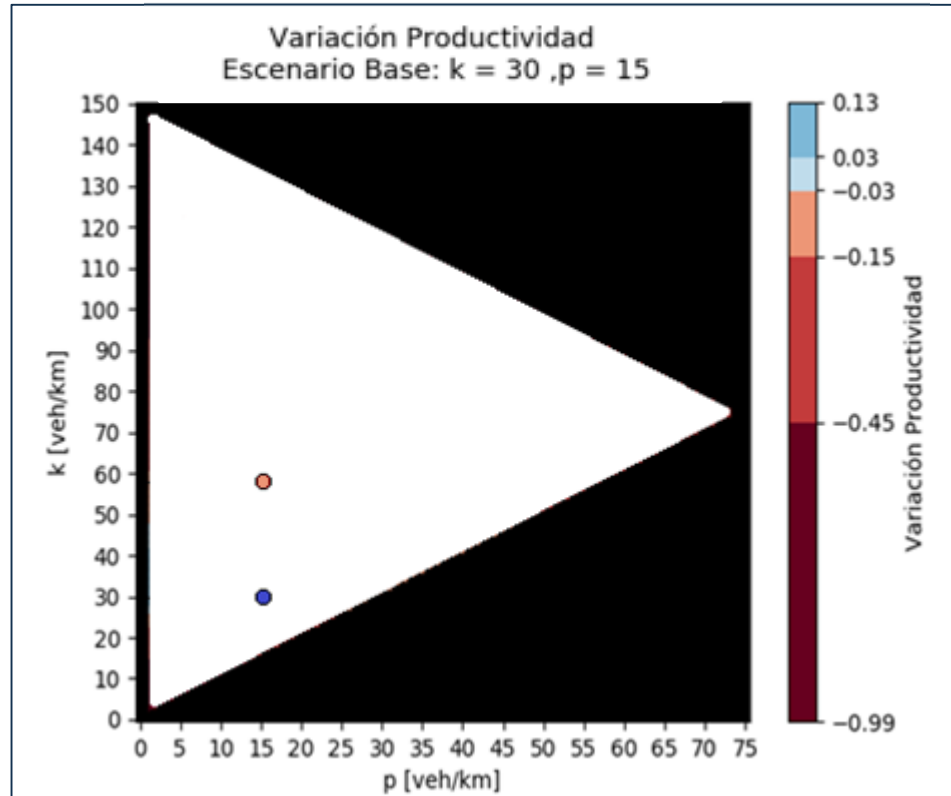
(15, 30)

$P_e =$

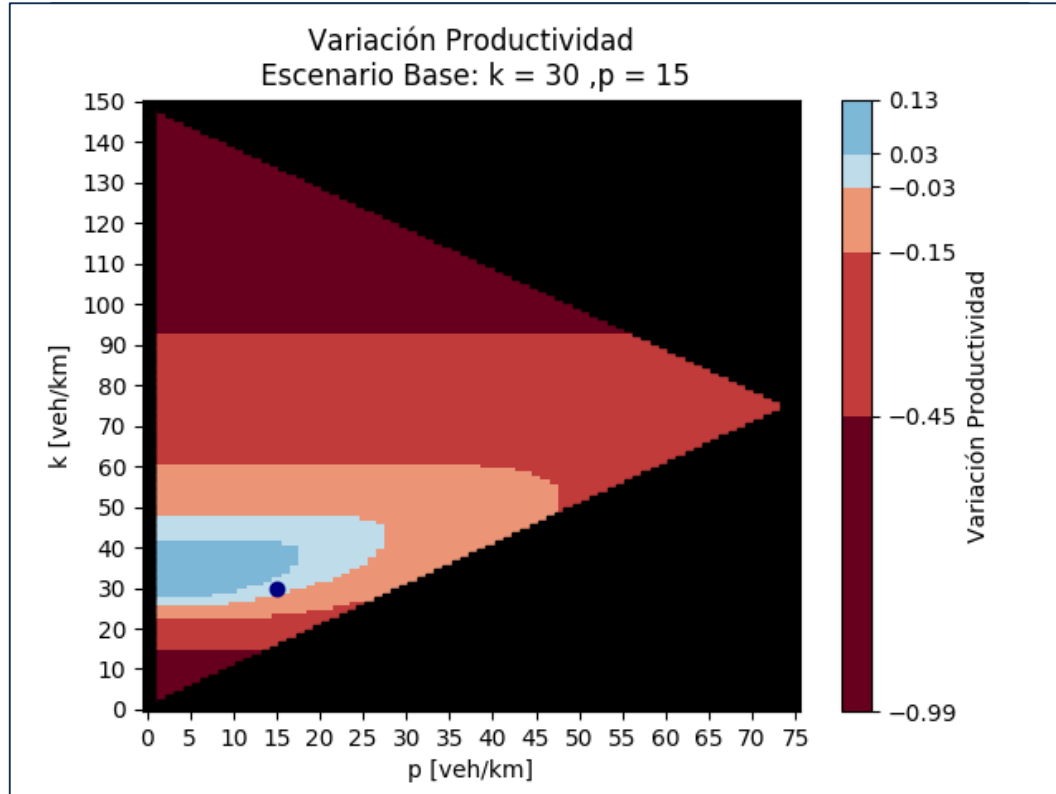


(15, 58)

Desarrollo analítico



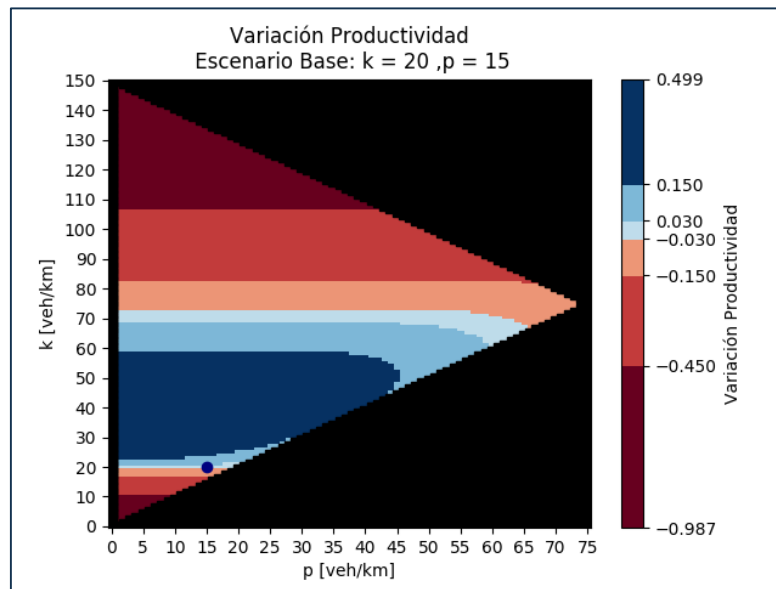
Desarrollo analítico



Desarrollo analítico

Análisis completo de la red:

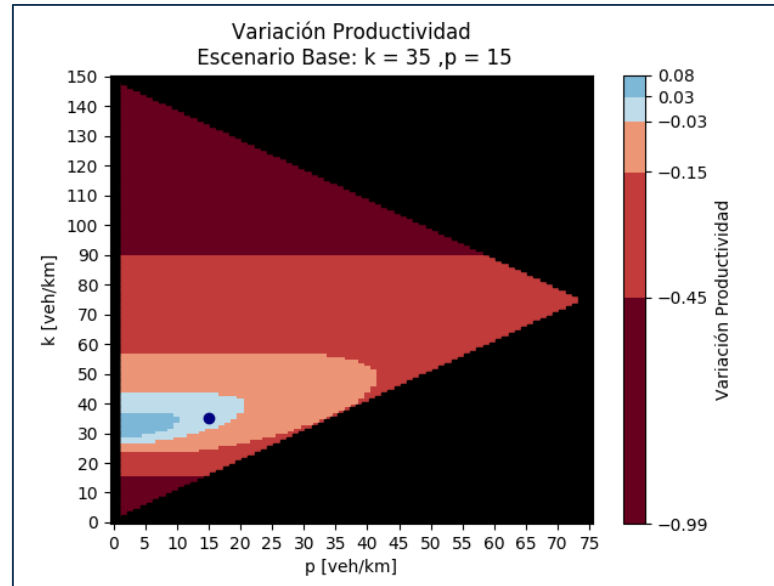
- Escenarios base con $\bar{k} \leq 25$ veh/km margen de mejora para nuevos escenarios con densidades medias mayores.



Desarrollo analítico

Análisis completo de la red:

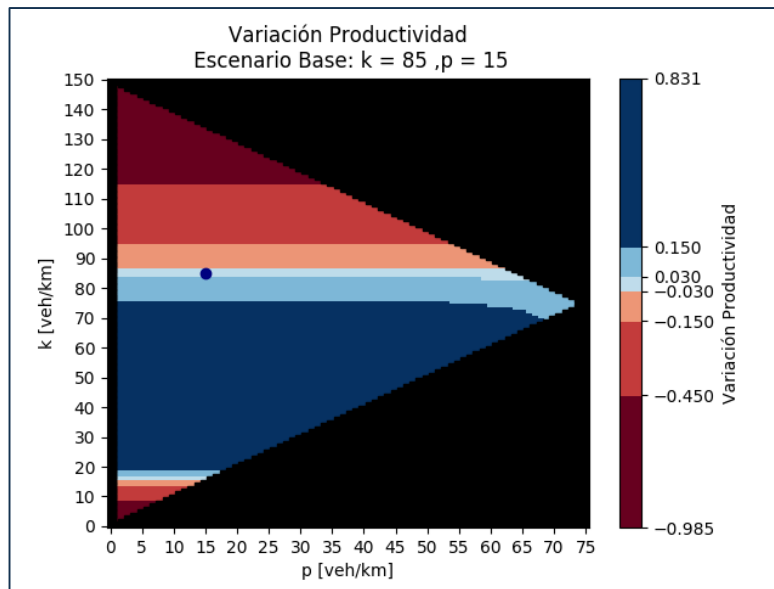
- Si $\bar{k}$ es ligeramente superior a k_c , la red está operando cerca de su capacidad.



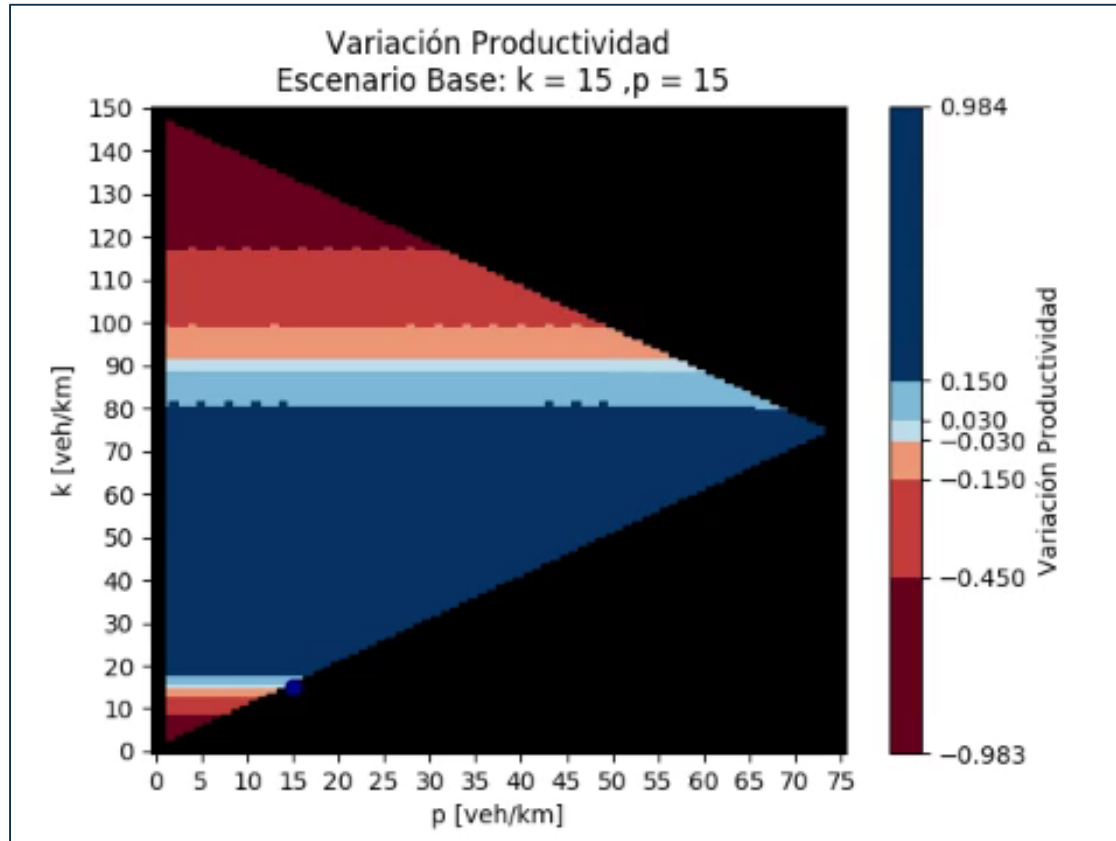
Desarrollo analítico

Análisis completo de la red:

- Escenarios base con $\bar{k} \geq 45$ veh/km margen de mejora para nuevos escenarios con densidades medias menores.



Desarrollo analítico



Contenido de la presentación



1. Motivación y metodologías usadas en la actualidad
2. Objetivo de investigación
3. Metodología
4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Conclusiones



- MFD logra cuantificar la vulnerabilidad de la red urbana frente a la disminución en la capacidad de a lo menos un arco, esto sin despreciar la congestión.
- La metodología es aplicable a pesar de no saber con certeza la fdp de las densidades en la red, ya que al variar estas funciones los resultados no variaron más del 9%.

Futuras líneas de investigación



1. Profundizar en el estudio de *fdp's* capaces de representar la distribución de las densidades en una red urbana.
2. Probar la metodología con *fdp's* más complejas.
3. Modelar mediante ambas metodologías la misma red, con la finalidad de cuantificar la diferencias entre ambos métodos.

Agradecimientos



- Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN)
- CONICYT/FONDAP/15110017



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística



ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD DE UNA RED URBANA, MEDIANTE EL DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO (MFD)

Renato Munita Guajardo
Juan Carlos Herrera Maldonado