Incorporación y análisis de la incertidumbre en los sistemas de transporte de carga. Un enfoque basado en modelos de máxima entropía y la lógica difusa.

Universidad de los Andes

Héctor López
Universidad de los Andes
29 de junio de 2023

Máxima entropía

- La maximización de la entropía (distribuciones discretas):

Objetivo: seleccionar la distribución de probabilidad más adecuada cuando hay información limitada disponible.

El proceso de maximización de la entropía se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Definir las restricciones: Se deben establecer las restricciones que limitan la elección de la distribución de probabilidad.
2. Definir la función objetivo: La función objetivo es la entropía que se desea maximizar.
3. Resolver el problema de optimización: Encontrar los valores de probabilidad que satisfacen las restricciones y maximizan la entropía.
4. Interpretar los resultados (contexto).

Estimación de matrices Origen-Destino

Modelación de la Distribución de Viajes

Tenemos: $\{O_1 \dots O_n\} \dashrightarrow T$

$\{D_1 \dots D_n\} \dashrightarrow T$

Matriz Origen - Destino de viajes

			O_1
	¿ T_{ij}?		...
			O_n
D_1	...	D_n	T

Elementos a considerar:

- Restricciones
- Costos
- Matriz observada

Estimación de matrices Origen-Destino

Wilson (1970)

$$\max_{t_{ij}} \quad z = -\sum_{i=1}\sum_{j=1} t_{ij} \ln t_{ij}$$

s.t.

Restricción de viajes originados

$$\sum_{j=1} t_{ij} = o_i, \quad \forall\, i \in m, \ (\tau_i)$$

Restricción de viajes atraídos

$$\sum_{i=1} t_{ij} = d_j, \quad \forall\, j \in n, \ (\gamma_j)$$

Restricción de costos

$$\sum_{i=1}\sum_{j=1} c_{ij} t_{ij} = c. \ (\beta)$$

Modelos de regresión lineal múltiple, que dependen del uso de suelo y factores socioeconómicos

Generalmente no ajustan

timación de matrices Origen-Destino

Wilson (1970)

Solución por CPO (algoritmo Gravitacional)

Métodos de punto fijo para estimación de tij y variables duales

Medidas de accesibilidad y atractividad de cada zona.
Sensibilidad al costo de viaje

Estimación de matrices Origen-Destino

Aplicaciones recientes

- Modelado con datos GPS (You y Ritchie 2019),
- Estimación dinámica de OD utilizando datos de tarjetas inteligentes (Ait-Ali y Eliasson 2019)
- Modelado para identificar la fuente de los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos (Schlaich et al. 2020)
- Modelado con datos de teléfonos móviles (Demissie, Phithakkitnukoon y Kattan 2018; Caceres, Romero y Benitez 2020),
- Distribuciones de viajes de evacuación durante tifones (Hu y Ho 2016)
- Matrices OD bajo restricciones de demanda de viajes (Sun et al. 2019)
- Modelado de transporte interregional (Velichko 2016),
- Modelado de distribuciones de viaje en Taxi (Tang et al. 2018),
- Análisis de entrada-salida (Hewings y Fernandez-Vazquez 2019)
- flujos de tráfico en carretera (Hu et al. 2020)

Estimación de matrices Origen-Destino

TRANSPORTMETRICA A: TRANSPORT SCIENCE
https://doi.org/10.1080/23249935.2021.1913257

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

A maximum entropy optimization model for origin-destination trip matrix estimation with fuzzy entropic parameters

Héctor López-Ospina [a], Cristián E. Cortés [b], Juan Pérez [c], Romario Peña[a], Juan Carlos Figueroa-García[d] and Jorge Urrutia-Mosquera[e]

[a]Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia; [b]Civil Engineering Department, Universidad de Chile, Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), Santiago, Chile; [c]Universidad de Los Andes, Chile; [d]Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; [e]Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

Track your submissions

Freight Tour Synthesis based on Entropy Maximization with fuzzy flexible constraints

Corresponding Author: Héctor López-Ospina

Transportation

3ce26d04-e394-4fd3-a68f-f4d716cb7a88 | v.2.0

View submission details

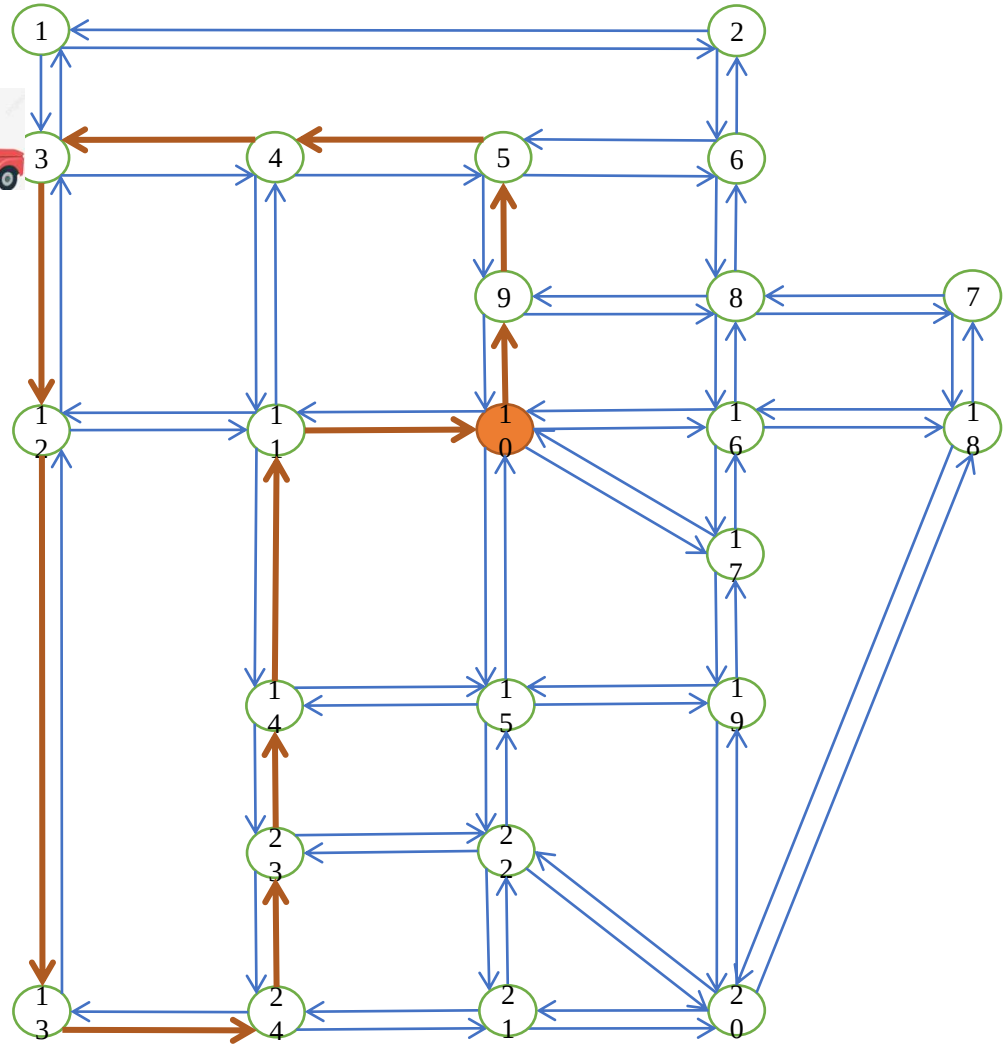
Diana Patricia Moreno-Palacio, Ph.D. Student [1]. Assistant Professor [2]
Carlos A. Gonzalez-Calderon, Ph.D. Associate Professor [1]
Hector Lopez-Ospina, Ph.D. Associate Professor [3]
Jhan Kevin Gil-Marin, M.S. Student [1]. Graduate Research Assistant [4]
John Jairo Posada-Henao, Ph.D. Associate Professor [1]

[1]Universidad Nacional de Colombia at Medellin. [2]Universidad de Antioquia, Colombia.
[3]Universidad de los Andes, Colombia. [4] University of Maine, US.

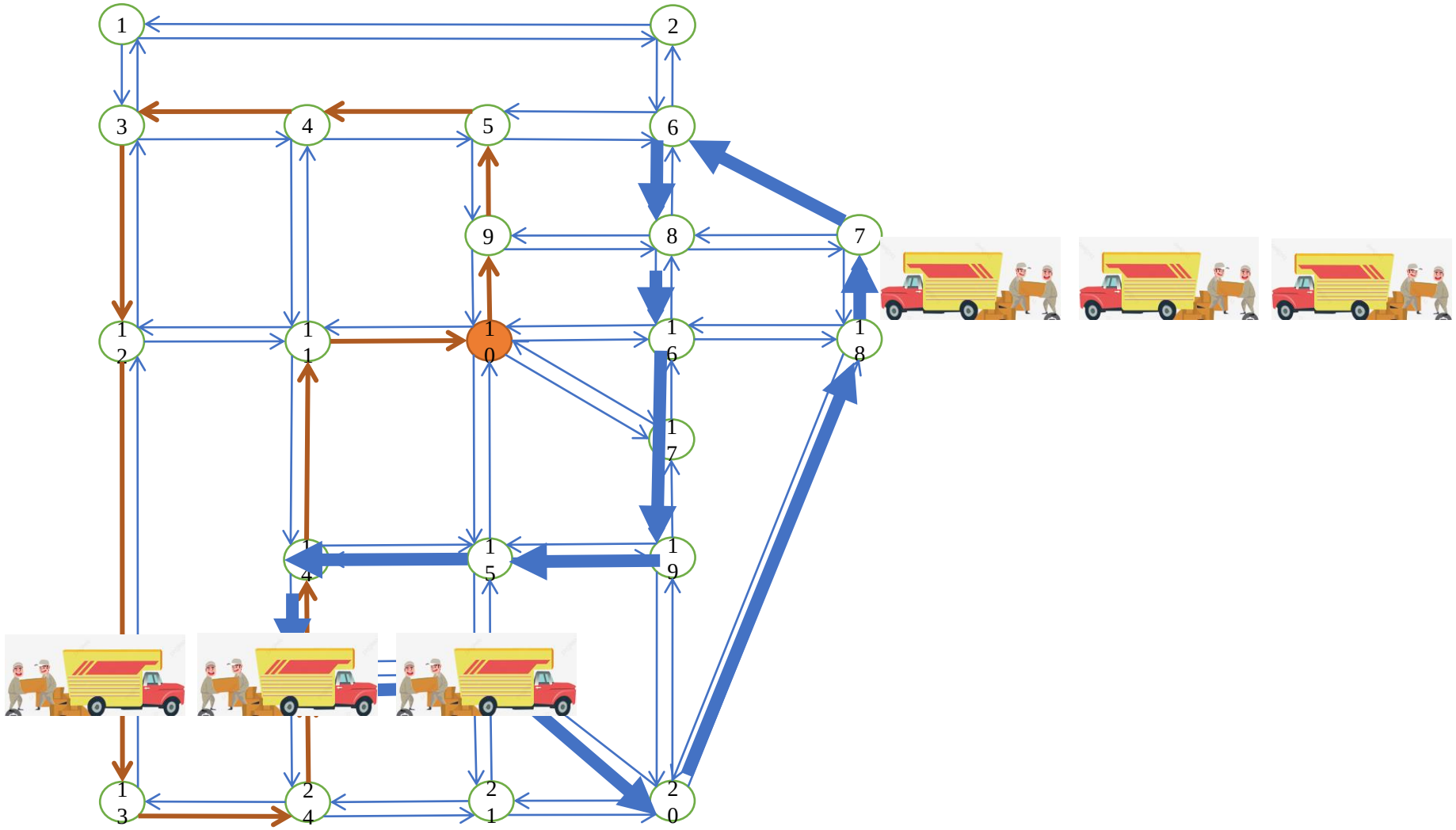
No es preciso modelar el transporte urbano de mercancías utilizando las mismas técnicas para la demanda urbana de pasajeros

	Modelado de la demanda de pasajeros	Modelado de la demanda de carga
Unidad de demanda	Pasajero-viaje	Diferentes unidades, por ejemplo, peso, camiones, etc.
Responsable	Sólo uno: el pasajero	Numerosos tomadores de decisiones (por ejemplo, cargadores, transportistas, receptores)
Origen - Destino	Un origen y un destino	Múltiples ubicaciones para recoger y/o entregar carga

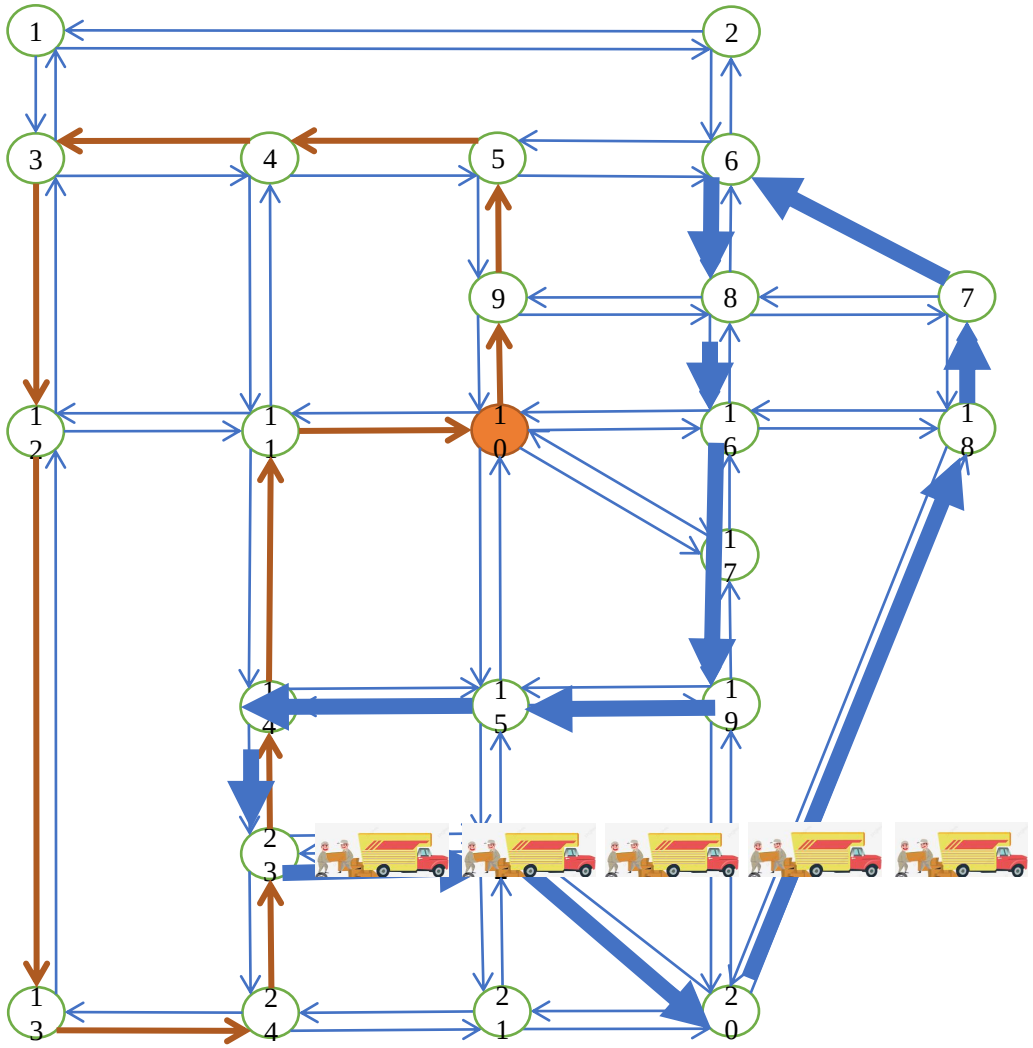
En el transporte de carga, es más importante considerar las cadenas de viajes (tours) que solo el origen y los destinos.



En el transporte de carga, es más importante considerar las cadenas de viajes (tours) que solo el origen y los destinos.



En el transporte de carga, es más importante considerar las cadenas de viajes (tours) que solo el origen y los destinos.



Enfoque de maximización de la entropía. Origen-destino (pasajeros y mercancías) y recorridos de mercancías.

(Wilson, 1967)

- Propuso una teoría estadística para la distribución espacial y los modelos de partición modal que llamó maximización de la entropía.

(Wilson, 1969)

- Teoría de distribución de viajes, partición modal y división de rutas considerando el costo percibido de los usuarios.

(Ortuzar & Willumsem, 2011)

- Resume y da lineamientos prácticos de la maximización de la entropia (algoritmo gravitacional)

(Gonzalles-Calderon & Holguin-Veras, 2019)

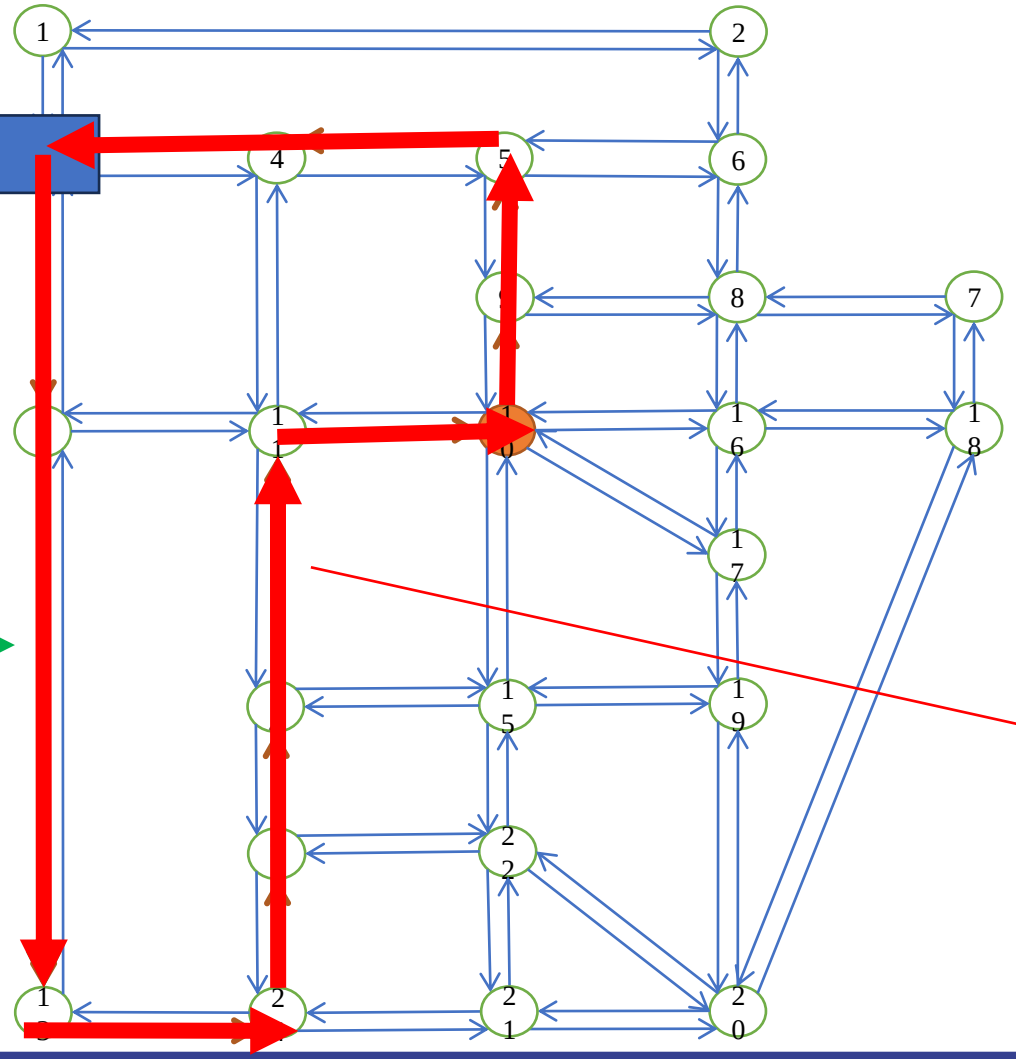
- Use la maximización de entropía para desarrollar un modelo para Freight Tour Synthesis (FTS) usando conteos de tráfico. Trabajos Similares: Campbell et al. 2018; Bastida and Holguin-Veras 2009; Holguin et al., 2017; Gonzalez-Feliu and Sánchez-Díaz 2019; Holguin-Veras et al. 2011, 2014; Krisztin 2018; Gonzalez-Calderon et al. 2018; Sanchez-Diaz, Holguin-Veras, and Wang 2016

En el transporte de carga, es más importante considerar las cadenas de viajes (tours) que solo el origen y los destinos.

Parámetros:

Nodo i: Oi

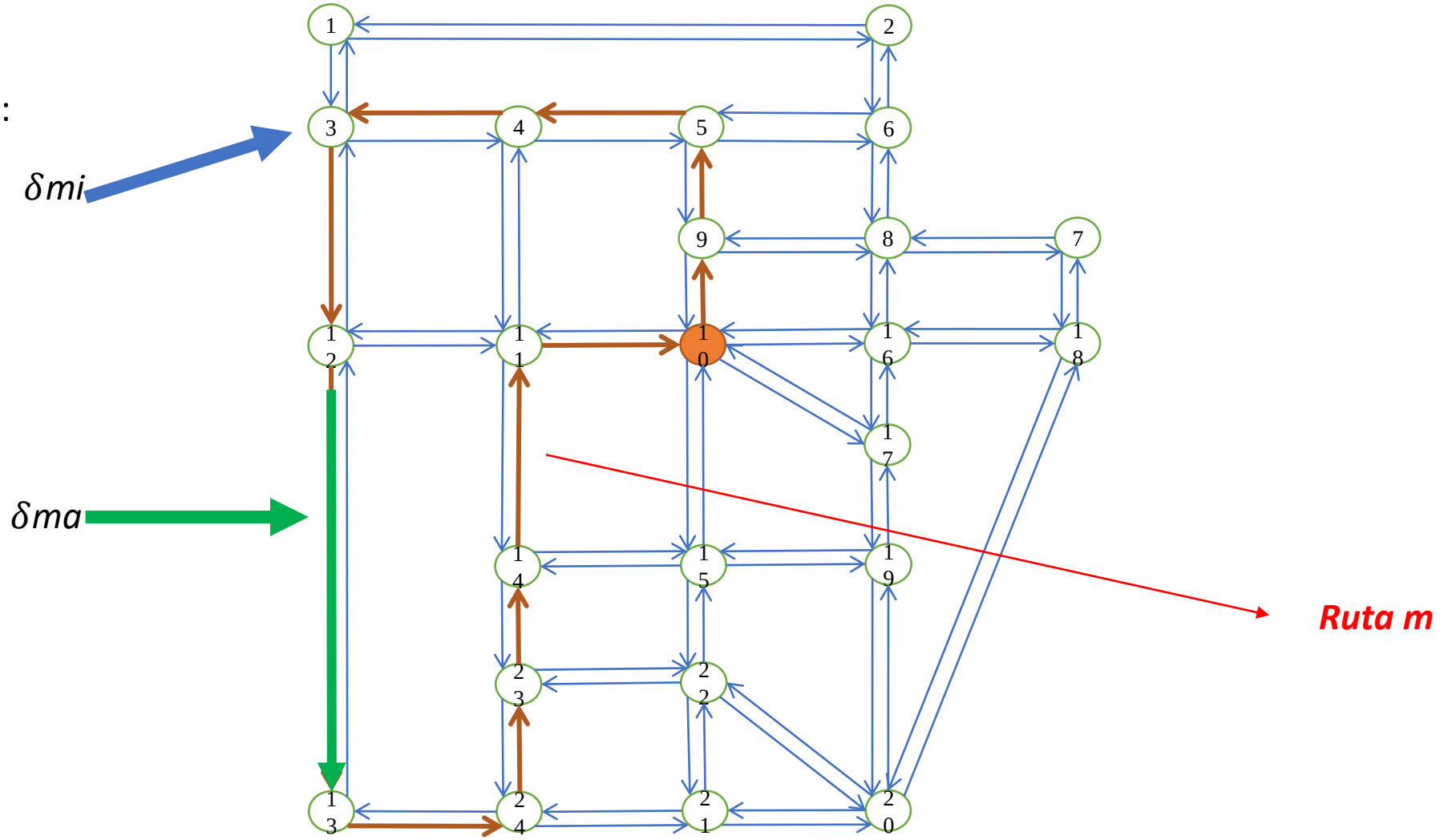
Arco a: Va



Ruta m: Cm

En el transporte de carga, es más importante considerar las cadenas de viajes (tours) que solo el origen y los destinos.

Parámetros:



Entropía para transporte de carga (Gonzalez-Calderón y Holguín-Veras, 2019)

$$max \sum_{(m=1)}^{M} t_m - t_m ln(t_m)$$

Sujeto a:

Parámetros Estimados

Origen $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{mi} = O_i, \quad \text{i} = 1,2,\ldots,N \right.$

Costo $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m C_m = C \right.$

Volumen $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{ma} = V_a, \quad \text{a} = 1,2,\ldots,Q \right.$

m: tour;
t_m: flujo en el tour m;
M: Número total de posibles recorridos de camiones en el sistema;
N: Número total de nodos en el sistema;
Q: Número total de arcos con conteo de tráfico en el sistema;
δ_mi: 1 si el nodo i está en el recorrido del camión m, 0 en caso contrario;
C_m: Impedancia (costo) del recorrido del camión m;
δ_ma: 1 si el tour m usa el enlace a, 0 de lo contrario;
V_a: Recuento de tráfico de camiones observado en el enlace a

Entropía para transporte de carga

$$max \sum_{(m=1)}^{M} t_m - t_m ln(t_m)$$

Sujeto a:

Parámetros Estimados

Origen $\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{mi} = O_i, \quad \mathrm{i} = 1,2,\ldots,N$

Costo $\sum_{(m=1)}^{M} t_m C_m = C$

Volumen $\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{ma} = V_a, \quad \mathrm{a} = 1,2,\ldots,Q$

Parámetros con distinto nivel y fuentes de de información

Optimización difusa

Lodwick, y Kacprzyk, (2010), Luhandjula, (2015), Lamata et al. (2018), Figueroa–García et al., (2022),

la inclusión de parámetros difusos en optimización permite resolver adecuadamente problemas que involucran múltiples agentes y criterios en entornos inciertos o bajo imprecisión.

Información de diferentes fuentes, con subjetividad, integrada con el conocimiento de expertos e información histórica e información faltante (incompleta).

La lógica difusa ayuda a incluir la variabilidad de los parámetros, lo que también debe reflejarse en los resultados y su interpretación (Rose, 2021).

La optimización difusa permite trabajar con modelos flexibles, que en escenarios deterministas pueden no tener una región factible (nivel de cumplimiento de restricciones).

El interés de esta investigación es presentar una síntesis de viajes de carga (FTS) basada en entropía utilizando lógica difusa (FL)

Los costos, los conteos de tráfico y la demanda de camiones presentan variaciones.

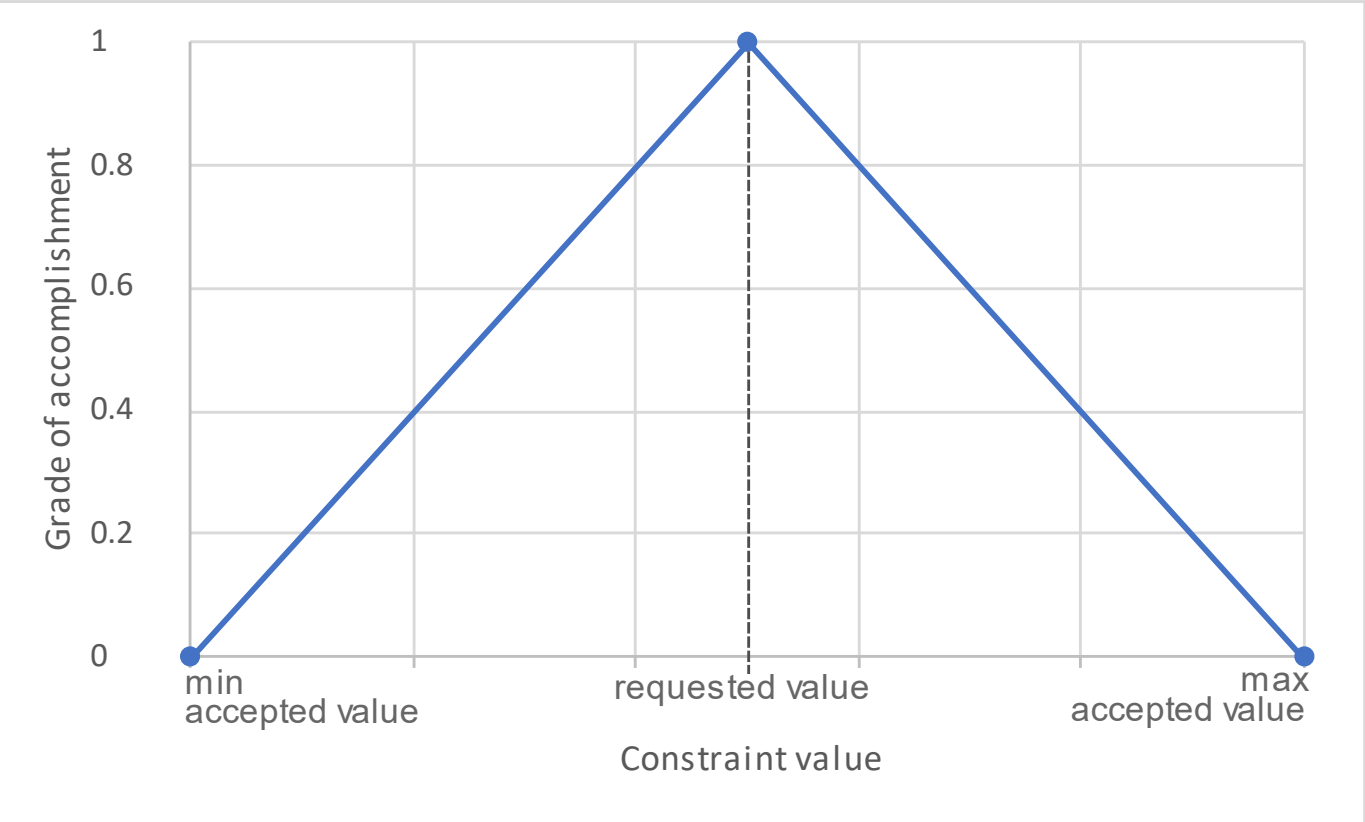
Funciones de pertenencia

x-axis rangos de variabilidad de la restricción

y-axis nivel de cumplimiento de la restricción.

Zadeh, (1965)

Para esta investigación usamos triangular



Entropía con restricciones difusas

$$max \sum_{(m=1)}^{M} t_m - t_m ln(t_m)$$

Subject to:

Números difusos

Origen $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{mi} = \overbrace{(O_i^1, O_i^2, O_i^3)}, \right.$ $\quad$ i $= 1,2,\ldots,N$

Costo $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m C_m = (C_1, C_2, C_3) \right.$

Volumen $\left\{ \sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{ma} = (V_a^1, V_a^2, V_a^3), \right.$ $\quad$ a $= 1,2,\ldots,Q$

m: tour;
t_m: flujo en el tour m;
M: Número total de posibles recorridos de camiones en el sistema;
N: Número total de nodos en el sistema;
Q: Número total de arcos con conteo de tráfico en el sistema;
δ_mi: 1 si el nodo i está en el recorrido del camión m, 0 en caso contrario;
C_m: Impedancia (costo) del recorrido del camión m;
δ_ma: 1 si truck tour m usa el enlace a, 0 de lo contrario;
V_a^t: Recuento de tráfico de camiones observado en el enlace a

Formulación bi-objetivo

$$max\left(\lambda, \sum_{(m=1)}^{M} t_m - t_m ln(t_m)\right)$$

Objectives:

Minimo nivel de pertenencia, λ

Entropía

Subject to:

Origin

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{mi} \leq \lambda O_i^2 + (1-\lambda) O_i^3 , \qquad i = 1,2,\ldots,N$$

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{mi} \geq (1-\lambda) O_i^1 + \lambda O_i^2 , \qquad i = 1,2,\ldots,N$$

Volume

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{ma} \leq \lambda V_a^2 + (1-\lambda) V_a^3 , \qquad \mathrm{a} = 1,2,\ldots,Q$$

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m \delta_{ma} \geq (1-\lambda) V_a^1 + \lambda V_a^2 , \qquad \mathrm{a} = 1,2,\ldots,Q$$

Cost

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m C_m \leq \lambda C_2 + (1-\lambda) C_3$$

$$\sum_{(m=1)}^{M} t_m C_m \geq (1-\lambda) C_1 + \lambda C_2$$

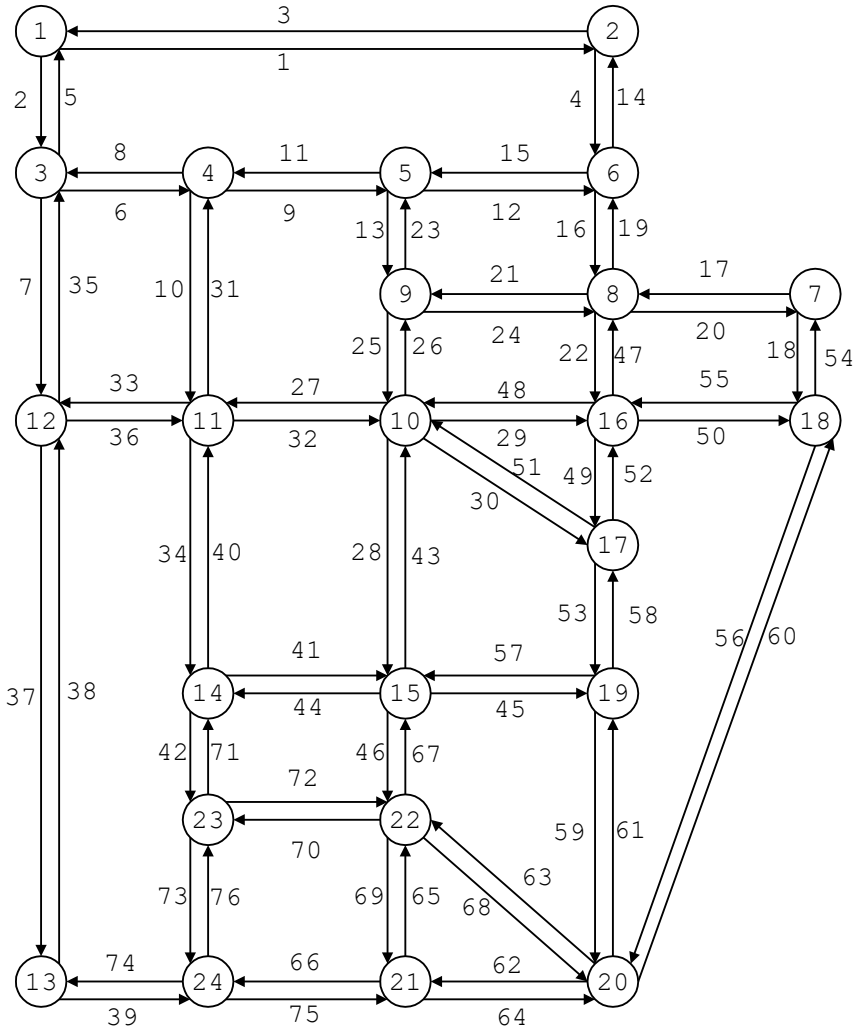
Non-negativity

$$t_m \geq 0 \qquad \forall m \in \{1,2,\ldots,M\}, \qquad \lambda \in [0,1]$$

ε - constraint method

$$\lambda \geq \varepsilon \qquad \varepsilon \in [0,1], steps: 0.01$$

Experimento numérico: Red Sioux Falls (SF)



Adecuada para probar diferentes modelos de transporte

Nodos representan

- Puntos de demanda y oferta
- Paradas

Rutas, costos de rutas, and flujos (Gonzalez-Calderon, 2014).

Solo hay soluciones factibles para valores menores a ε = 0.18

El nivel de cumplimiento mínimo para, al menos, una restricción es el valor ε.

El problema es infactible para un mayor nivel de membresía.

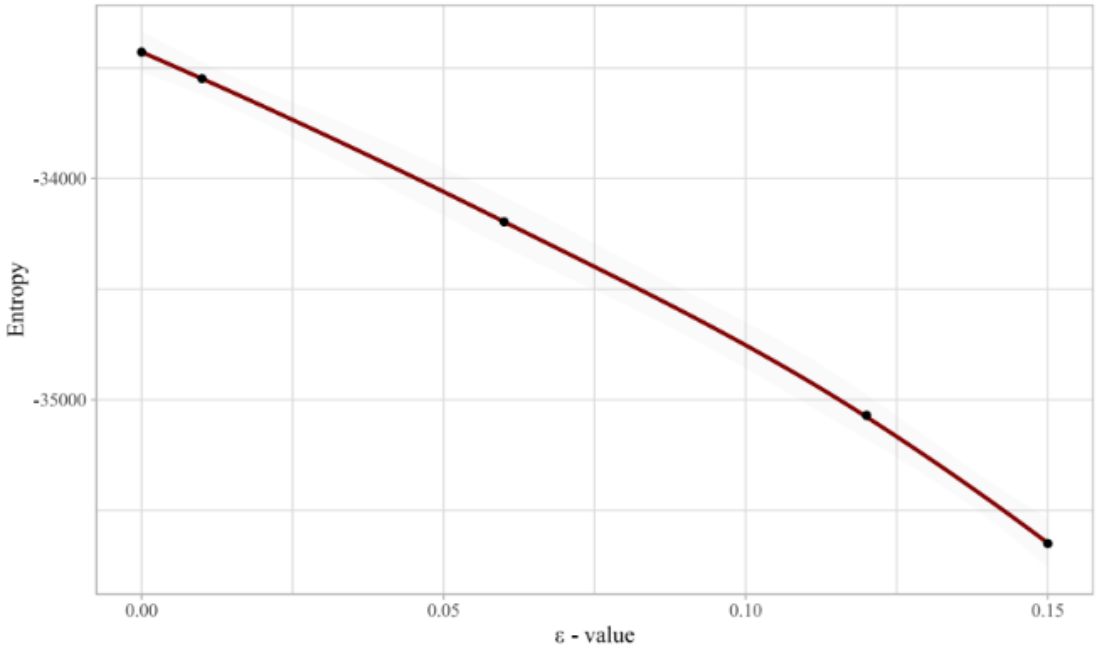
En la vida real no siempre es posible cumplir la restricción al 100%

Sin flexibilidad no sería factible encontrar soluciones

Solamente 5 solusiones son estadisticamente diferentes (Prueba Chi-cuadrado) $\chi^2(t_{\varepsilon_1}, t_{\varepsilon_2}) = \sum_{m=1}^{M} \frac{(t_m(\varepsilon_1) - t_m(\varepsilon_2))^2}{t_m(\varepsilon_2)}$

Las entropías obtenidas con el modelo propuesto no son directamente comparables entre sí

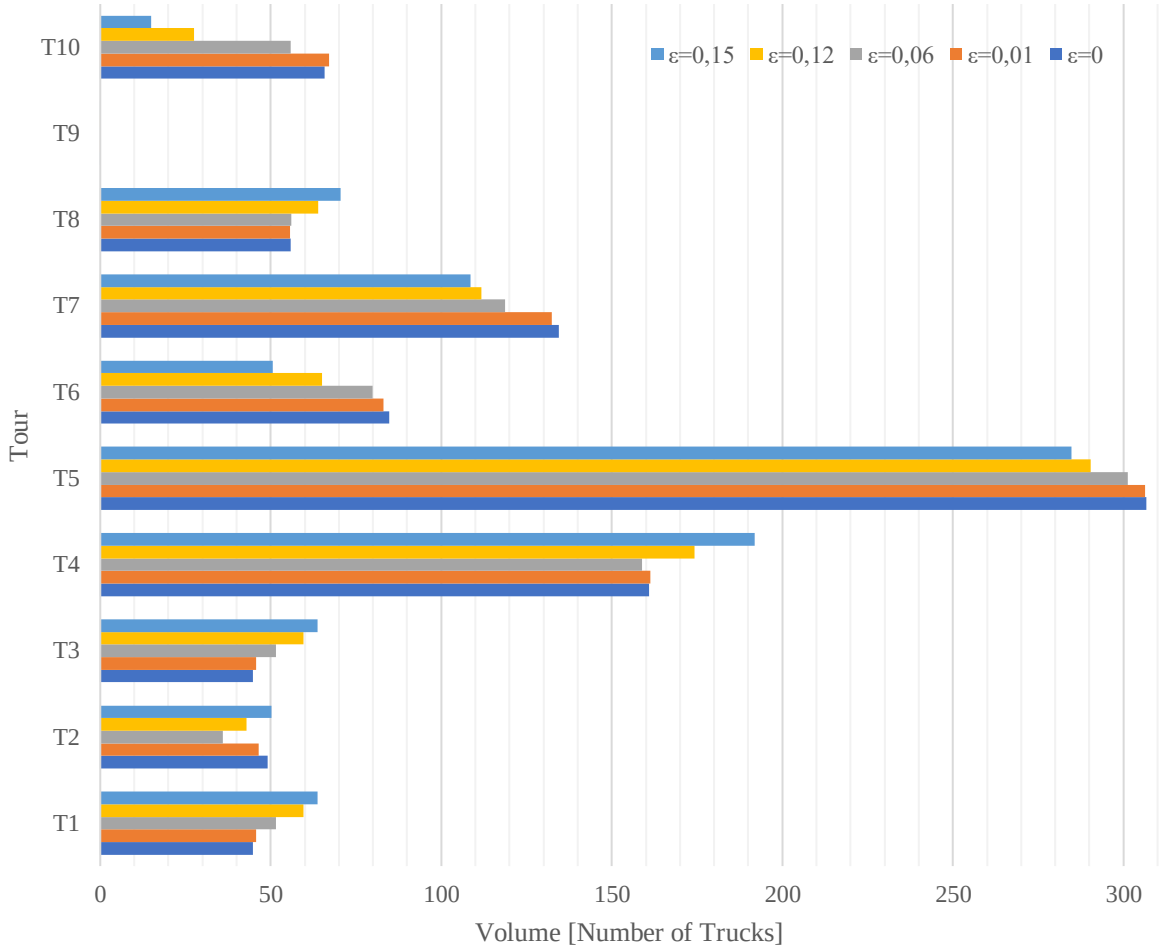
Entropia estandarizada (porcentaje)



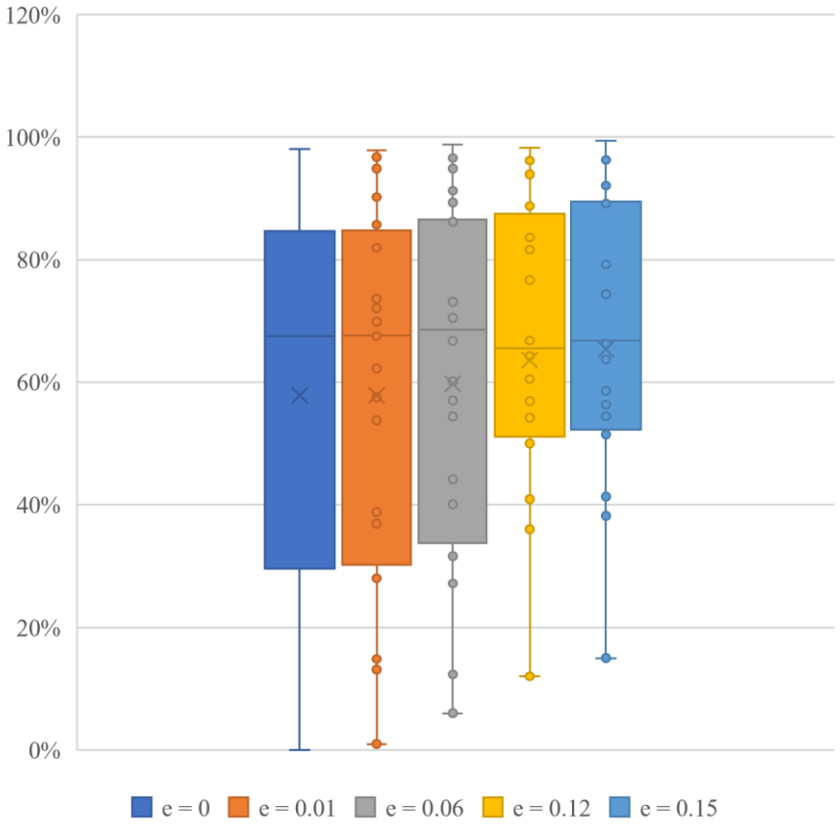
La frontera existe

Si aumenta el nivel de cumplimiento entonces la entropia disminuye.

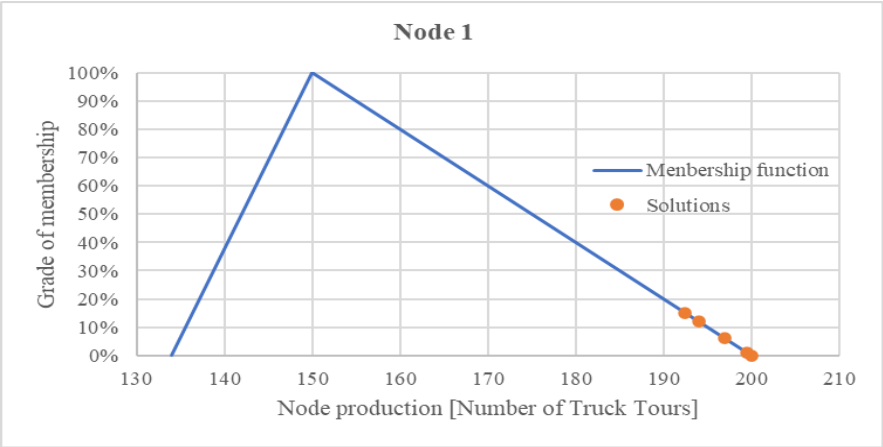
Con la relajación de las restricciones (diferente valor de ε), cambia el número de camiones que utilizan un recorrido específico.

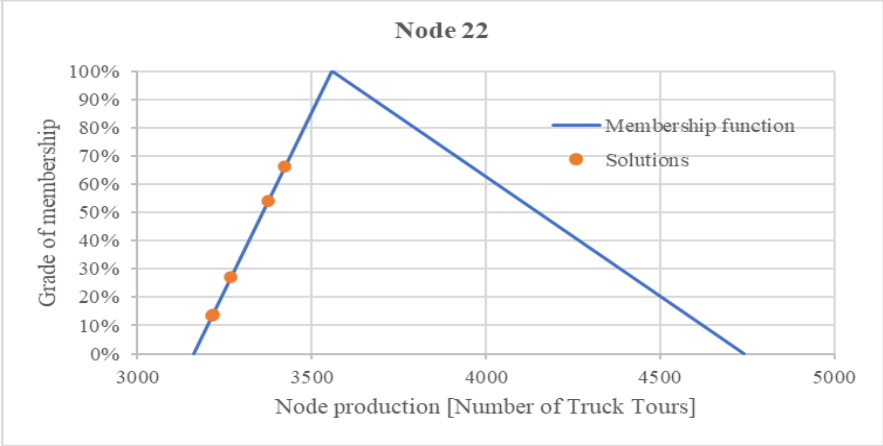


Con la flexibilización de las restricciones (diferente valor de ε), el nivel de logro cambia



Porcentaje de cumplimiento de los nodos





Accomplishment of the node production

Extensiones

- Modelo dinámico de gestión de flota. Costos asociados a la perdida de oportunidad (no uso de la flota), penalización por faltantes.
- Incorporación de variabilidad en costos de rutas
- Modelo integrado de camiones y buses, con costos por congestión.
- Restricciones de emisiones y externalidades negativas

References

- Wilson, A. G. A Statistical Theory of Spatial Distribution Models. Transportation Research, Vol. 1, No. 3, 1967, pp. 253–269. https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4.
- *Wilson, A. G. The Use of Entropy Maximising Models, in the Theory of Trip Distribution, Mode Split and Route Split. Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 3, No. 1, 1969, pp. 108–35 126.*
- *Ortuzar, J. de D., and L. G. Willumsen. Modelling Transport. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2011.*
- *Gonzalez-Calderon, C. A., and J. Holguín-Veras. Entropy-Based Freight Tour Synthesis and the Role of Traffic Count Sampling. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 121, No. November 2017, 2019, pp. 63–83. https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.10.010.*
- *Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, No. 3, 1965, pp. 338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X.*
- *Zadeh, L. A. Fuzzy Algorithms. Information and Control, Vol. 12, No. 2, 1968, pp. 94–102. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(68)90211-8.*
- *Hannan, E. L. Linear Programming with Multiple Fuzzy Goals. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 6, No. 3, 1981, pp. 235–248. https://doi.org/10.1016/0165-0114(81)90002-6.*
- *Hannan, E. L. On Fuzzy Goal Programming. Decision Sciences, Vol. 12, No. 3, 1981, pp. 522–531. https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1981.tb00102.x.*
- *Zimmermann, H.-J. Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 1, No. 1, 1978, pp. 45–55. https://doi.org/10.1016/0165-7 0114(78)90031-3.*
- *Bit, A. K., M. P. Biswal, and S. S. Alam. Fuzzy Programming Approach to Multicriteria Decision Making Transportation Problem. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 50, No. 2, 1992, pp. 135–141. https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90212-M.*
- *López-Ospina, H. Modelo de Maximización de La Entropía y Costos Generalizados Intervalares Para La Distribución de Viajes Urbanos. Ingenieria y Universidad, Vol. 17, No. 2, 2013, pp. 390–407.*