

Introduciendo Robustez Recuperable en el Diseño de Redes a través de la Aversión al Riesgo

LUIS CADARSO

UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS



Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

México D.F.

22 de mayo de 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México



Contenidos

1. Introducción

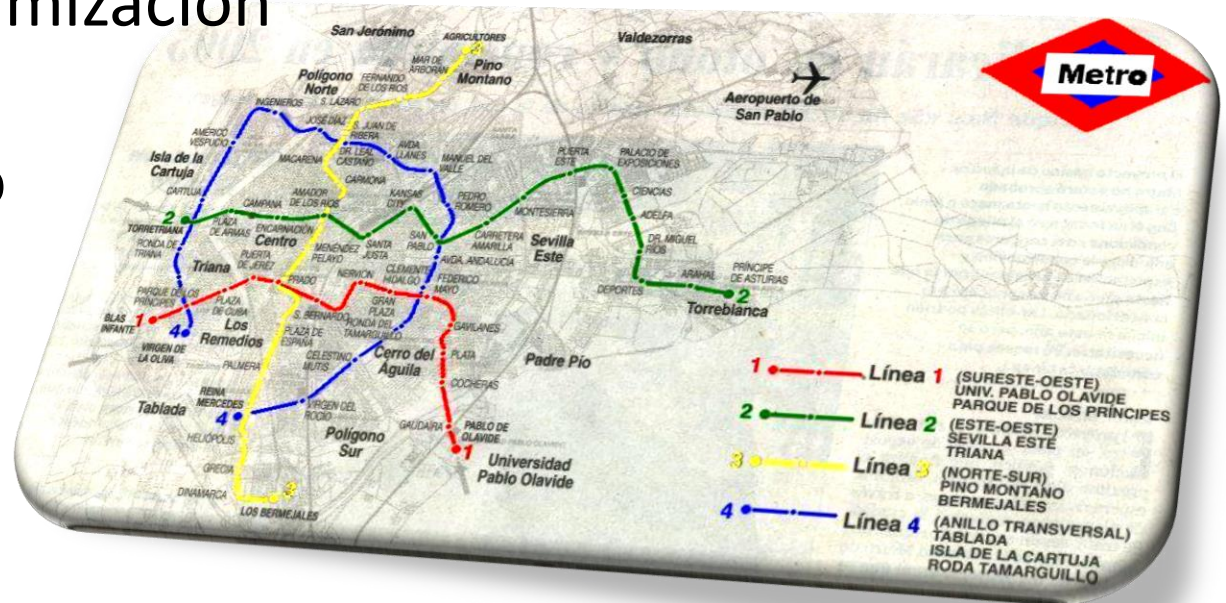
2. Descripción del Problema

3. Modelo de Optimización

4. Caso de Estudio

5. Conclusiones

6. Extensiones



Introducción

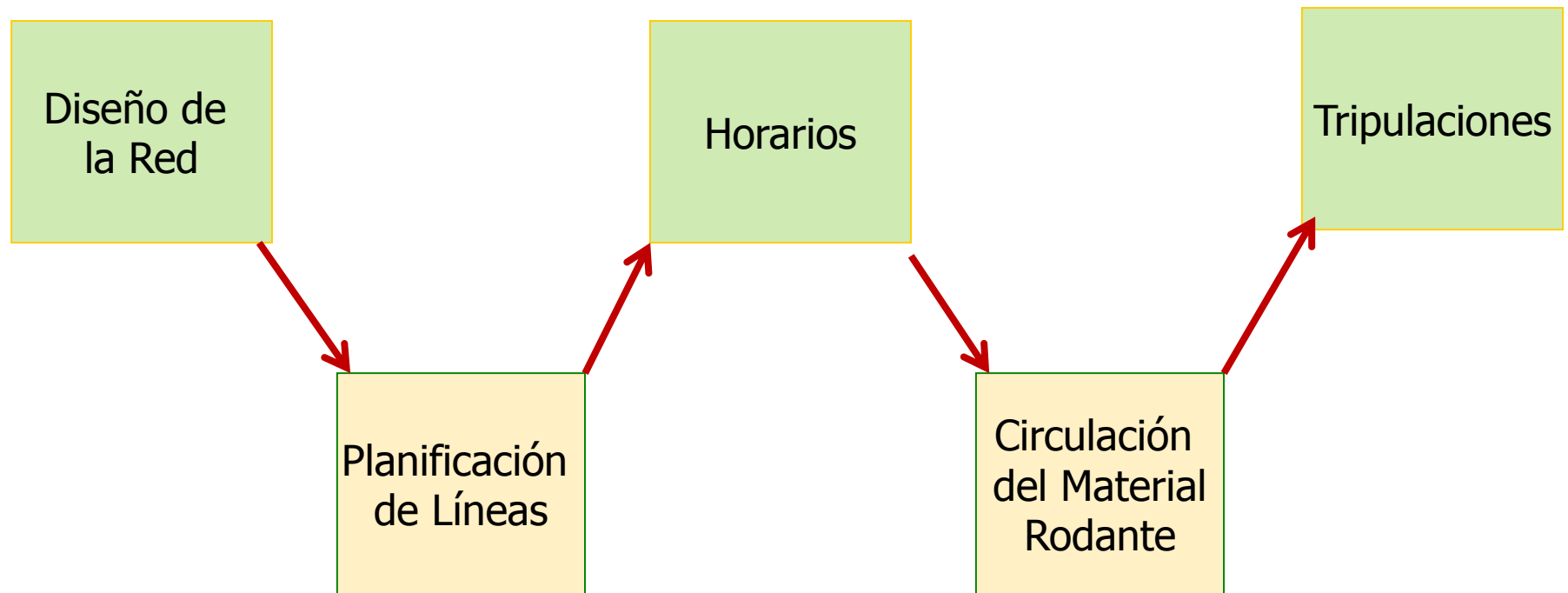
¿Qué problemas tenemos?

1. Ciudades más extensas.
2. Centros congestionados.

¿Potenciar el transporte público? ¿Para qué?

1. Evitar la congestión.
2. Reducir el tiempo de viaje.
3. Reducir el consumo de energía.
4. Reducir la contaminación.

Introducción



Introducción

El diseño de una red de transporte:

- depende en gran medida del futuro uso del sistema,
- busca maximizar la cobertura de demanda por la nueva red,
- tiene en cuenta las limitaciones de diseño y presupuestarias,
- y considera las decisiones de la demanda a la hora de evaluar las diferentes alternativas de viaje.

Introducción

- Los sistemas espacialmente distribuidos son **vulnerables a las incidencias**.
- Son de naturaleza **impredecible** en términos de ubicación, hora y magnitud.
- Es necesario diseñar **métodos de mitigación** efectivos. Hacer frente a estas incertidumbres es un ingrediente clave para proporcionar una red resistente para el día a día.



Introducción

- La **robustez recuperable**, estudia la **robustez** del sistema teniendo en cuenta las posibles **acciones de recuperación**.
- La **solución** del problema no tiene que ser necesariamente factible para todo un conjunto de incidencias, pero debe ser capaz de ser **recuperada con un coste limitado**.
- Este concepto se adapta muy bien para problemas de diseño de redes:

diseñar la red de tal manera que los efectos negativos provocados por las incidencias en la fase operativa se limiten al aplicar una estrategia de recuperación dada.

Contribuciones

- En este trabajo, presentamos **dos nuevas aproximaciones** al problema de diseño de redes de transporte.
- El **primero** tiene como objetivo **minimizar el impacto del peor escenario** en el funcionamiento de la red.
- El **segundo** tiene en cuenta diferentes **perfiles de riesgo** y minimiza los efectos del peor de los escenarios en todos los perfiles de riesgo.
- También comparamos estas aproximaciones con los enfoques tradicionales en diseño de redes de transporte.

Contenidos

1. Introducción

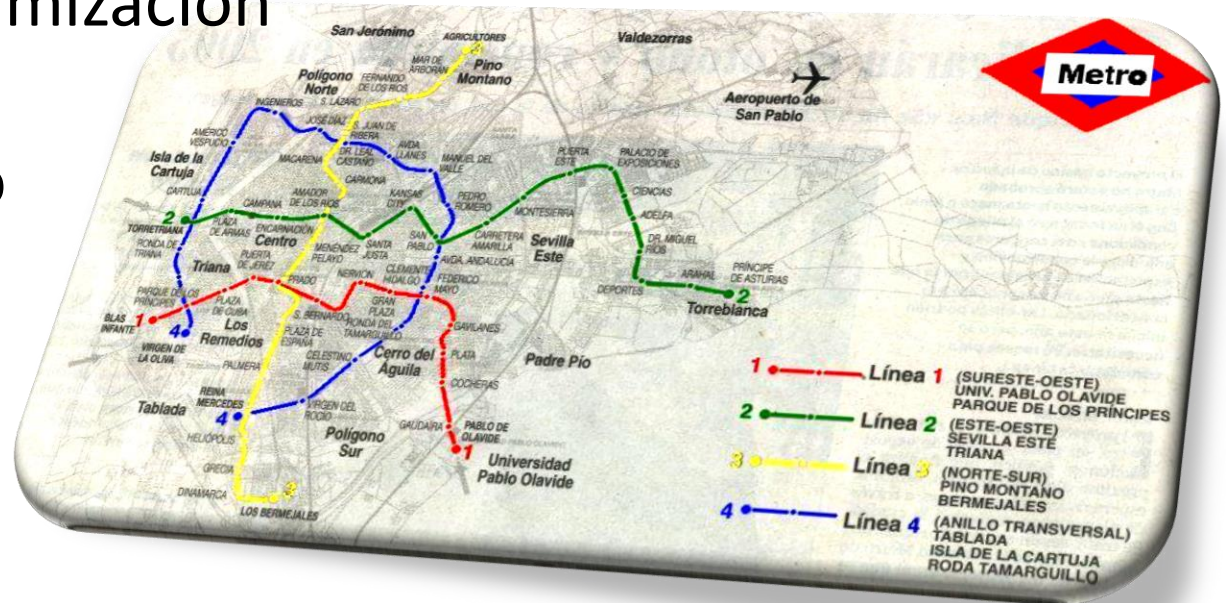
2. Descripción del Problema

3. Modelo de Optimización

4. Caso de Estudio

5. Conclusiones

6. Extensiones



Infraestructura

- La red consta de **arcos y nodos**.
- Dos tipos diferentes de **nodos**:
 - **Centroides**: nodos en los que se genera o se siente atraída la demanda.
 - **Estaciones**: nodos en los que la red esta construida. Es a través de ellos por donde la demanda entra y sale de la red.
- **Arcos**:
 - entre las estaciones de la red de transporte,
 - ficticios entre cualquier centroide origen y cualquier estación,
 - ficticios entre cualquier estación y centroide destino y
 - entre cualquier par origen-destino, correspondientes a la red actual.
- Cada nodo tiene un coste de construcción asociado y cada arco: el coste de construcción y la distancia.

Demanda

- La demanda se caracteriza por un origen y un destino.
- Definimos los **grupos de demanda** de la siguiente manera: $w = (o_w; d_w; g_w)$.
 o_w es el centroide origen,
 d_w es el centroide destino, y
 g_w es el tamaño del grupo, es decir, el número de pasajeros.
- La demanda se realizara a través de las rutas disponibles. Cada grupo elegirá un camino basándose en el **coste generalizado** del viaje: la distancia entre el origen y el destino.

Diseño de Redes Tradicional

Maximizar la cobertura de la demanda por transporte público por la nueva red

Minimizar el coste de enrutamiento

Minimizar el coste de localización

Diseño de Redes Tradicional

Restricciones de localización: las vías y las estaciones deben localizarse de manera razonada (e.g., formando líneas).

Restricciones de reparto modal: la demanda usa la nueva red si es el coste por la nueva red (si ha sido construida) es inferior al coste conocido de usar la antigua.

Restricciones de enrutamiento: la demanda es enrutada desde el origen al destino conservando el flujo en cada nodo.

Restricciones de localización-asignación: la demanda solo puede usar la parte de la red nueva construida.

Restricciones de presupuesto: El presupuesto disponible es limitado.

Diseño de Redes Tradicional

$$\min z_1 = \alpha z_{cur} + \beta z_{loc} + \gamma z_{route}$$

Función objetivo

$$A\mathbf{x} \geq b$$

Restricciones de localización

$$E\mathbf{y} - U\mathbf{x} \geq d$$

Restricciones de pasajeros

$$\mathbf{x} \in \{0, 1\}$$

$$\mathbf{y} \in \{0, 1\}$$



Diseño de Redes Tradicional

$$Ax \geq b$$

Restricciones de localización

$$x_{ij}^l \leq y_i^l, \forall (i, j) \in A, i < j, \forall l \in L$$

Restricciones de localización de arcos y nodos

$$x_{ij}^l \leq y_j^l, \forall (i, j) \in A, i < j, \forall l \in L$$

$$x_{ij}^l = x_{ji}^l, \forall (i, j) \in A, \forall l \in L$$

$$\sum_{\substack{j \in N(i) \\ i < j}} x_{ij}^l + \sum_{\substack{j \in N(i) \\ j < i}} x_{ji}^l \leq 2, \forall i \in N, \forall l \in L$$

Cada nodo no tiene más de dos arcos

$$h_l + \sum_{\substack{(i,j) \in A \\ i < j}} x_{ij}^l = \sum_{i \in N} y_i^l, \forall l \in L$$

Número de arcos es el número de nodos menos 1.

$$\sum_{\substack{(i,j) \in A \\ i < j}} x_{ij}^l(t) \leq M_2 h_l(t), \forall l \in L, \forall t \in T$$

$$h_l = 0, \text{ if } \sum_{(i,j) \in A, i < j} x_{ij}^l = 0$$

$$\sum_{\substack{(i,j) \in A \\ i < j}} x_{ij}^l(t) \geq h_l(t), \forall l \in L, \forall t \in T$$

$$h_l = 1, \text{ if } \sum_{(i,j) \in A, i < j} x_{ij}^l \neq 0$$

Diseño de Redes Tradicional

$$E\mathbf{y} - U\mathbf{x} \geq d \quad \text{Restricciones de pasajeros}$$

$$\sum_{k \in N(i)} f_{ki}^w - \sum_{j \in N(i)} f_{ij}^w = \begin{cases} -1 & \text{if } i = o(w), \forall w \in W \\ 1 & \text{if } i = d(w), \forall w \in W, \forall i \in N \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Conservación de flujo

$$\sum_{(ij) \in A_r \cup A_d \cup A_o} d_{ij} f_{ij}^w \leq \mu_w u_{cur}^w (1 - f_{cur}^w)$$

Elección modal

$$f_{ij}^w + f_{ji}^w \leq \sum_{l \in L} x_{ij}^l \quad \forall (ij) \in A_r : i < j, \forall w \in W$$

$$f_{o(w)j}^w \leq \sum_{l \in L} y_j^l \quad \forall j \in N_r, \forall w \in W$$

Localización-Asignación

$$f_{id(w)}^w \leq \sum_{l \in L} y_i^l \quad \forall i \in N_r, \forall w \in W$$

Robustez en el Diseño de Redes

- ¿Será el sistema capaz de funcionar bajo **condiciones cambiantes**?

Para ser robusto debe ser óptimo bajo la mayoría de los escenarios posible.

- Consideramos una red robusta cuando:

En caso de fallo, una alta proporción de pasajeros todavía la encuentra más rápida que usar otros modos de transporte.

- En el **diseño robusto** se requerirán **varias rutas alternativas** para cada demanda, más rápidas que la existente

$$f_{ij}^w \leq \frac{1}{q_{ij}^w}, (n_i, n_j) \in A'_{DAF} \subseteq A', w \in W_{DAF} \subseteq W,$$

Contenidos

1. Introducción

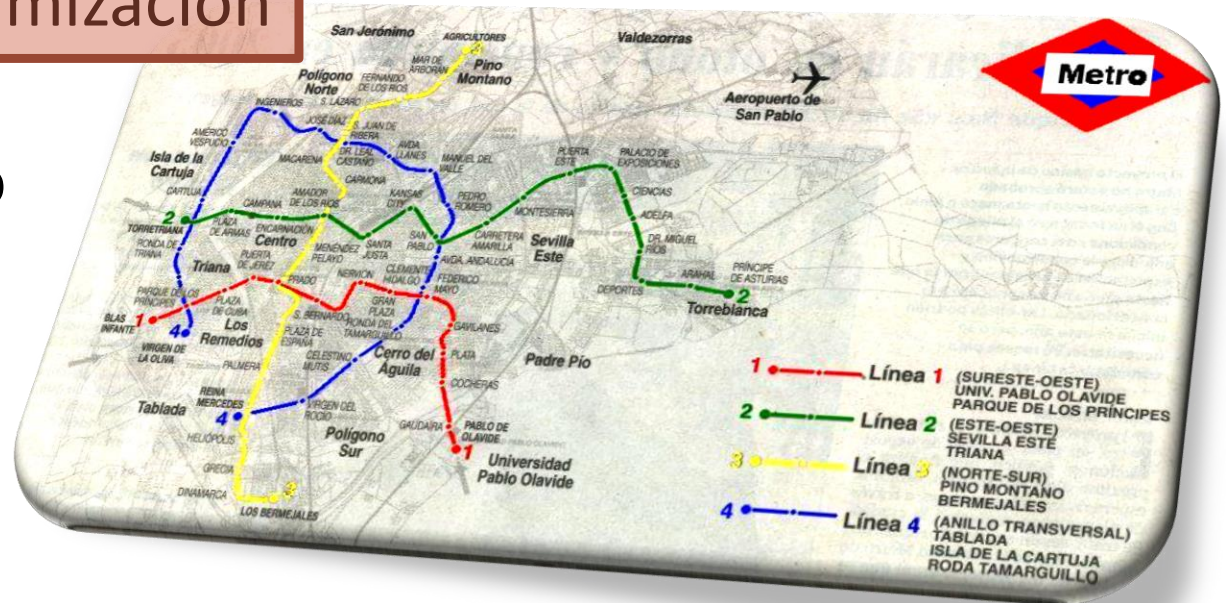
2. Descripción del Problema

3. Modelo de Optimización

4. Caso de Estudio

5. Conclusiones

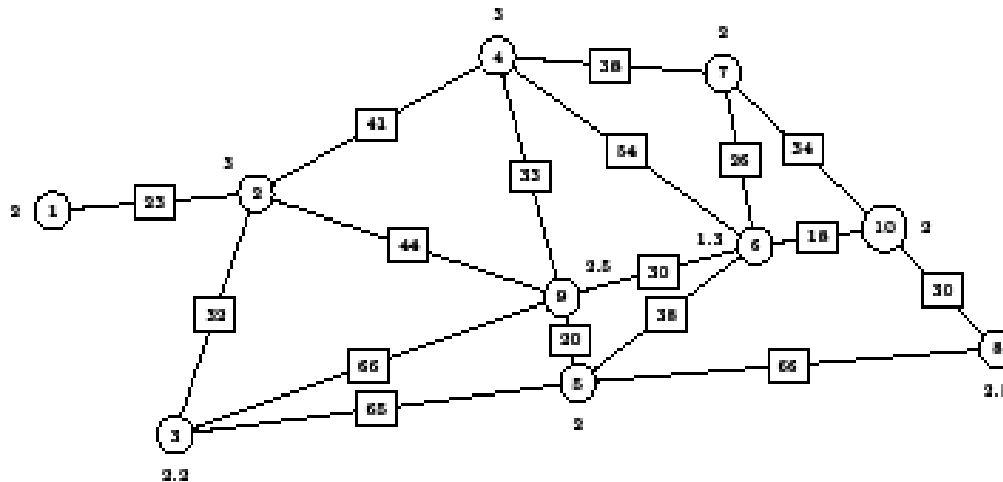
6. Extensiones



Robustez en el Diseño de Redes

Presentamos dos enfoques diferentes para el problema:

- el problema de diseño de red de transporte miniMax (mMTND),
- y el problema de diseño de red de transporte considerando la aversión al riesgo (RATND).



Robustez en el Diseño de Redes

- El objetivo del problema mMTND es hacer frente a la incertidumbre mediante la minimización de los efectos negativos producidos por una única incidencia, la peor.
- El problema RATND pretende identificar soluciones factibles aceptables de manera que la estrategia optimiza sobre ellas.

Consideramos un conjunto de perfiles $P = \{(\phi_p, E_p), p = 1, \dots, P\}$

ϕ_p es el umbral para la demanda desatendida y

E_p el límite superior para la demanda desatendida en todos los escenarios con respecto al umbral.

Formulación del Modelo mMTND

$$\min z_1 = \alpha z_{cur} + \beta z_{loc} + \gamma z_{route} + \alpha \Lambda \quad \text{Función objetivo}$$

$$A\mathbf{x} \geq b$$

Restricciones de localización

$$E\mathbf{y} - U\mathbf{x} \geq d$$

Restricciones de pasajeros

$$E_s \mathbf{y}_s - U\mathbf{x} \geq d \quad \forall s \in S$$

Restricciones de pasajeros en los escenarios

$$\lambda_s = z_{cur}^s \quad \forall s \in S$$

Pasajeros perdidos en cada escenario

$$\Lambda \geq \lambda_s \quad \forall s \in S$$

Pasajeros perdidos en el peor escenario

$$\lambda_s \geq 0 \quad \forall s \in S$$

$$\Lambda \geq 0$$

$$\mathbf{x} \in \{0, 1\}$$

$$\mathbf{y} \in \{0, 1\}$$

$$\mathbf{y}_s \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S$$

Dominio de las variables

Formulación del Modelo RATND

$$\min z_2 = \alpha z_{cur} + \beta z_{loc} + \gamma z_{route} + \alpha \sum_{p \in P} V_p \quad \text{Función objetivo}$$

$$Ax \geq b$$

Restricciones de localización

$$Ey - Ux \geq d$$

Restricciones de pasajeros

$$E_s y_s - Ux \geq d \quad \forall s \in S$$

Restricciones de pasajeros en los escenarios

$$\lambda_s = z_{cur}^s \quad \forall s \in S$$

Pasajeros perdidos en cada escenario

$$\lambda_s - \phi_p \leq v_s^p \quad \forall s \in S, p \in P$$

Pasajeros perdidos sobre el umbral

$$\sum_{s \in S} v_s^p \leq e_p \quad \forall p \in P$$

Límite superior de pasajeros sobre el umbral

$$V_p \geq v_s^p \quad \forall s \in S, p \in P \quad \text{Pasajeros perdidos peor escenario por perfil}$$

$$v_s^p \geq 0 \quad \forall s \in S, p \in P \quad x \in \{0, 1\}$$

$$V_p \geq 0 \quad \forall p \in P \quad y \in \{0, 1\}$$

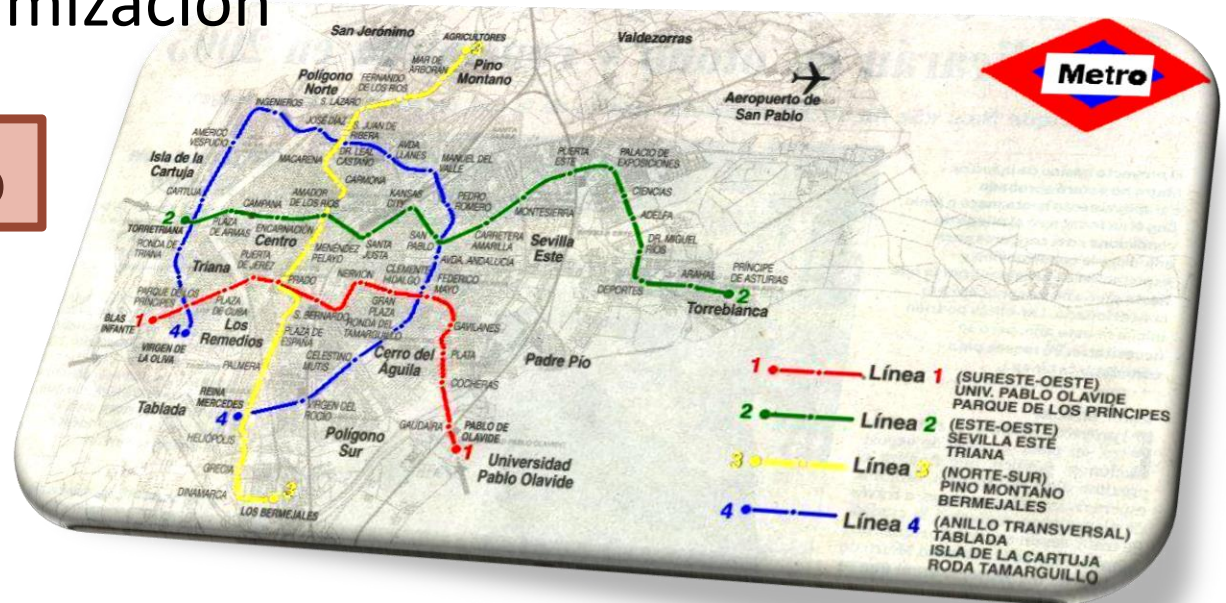
$$\lambda_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad y_s \in \{0, 1\}$$

$$\forall s \in S$$

Dominio de las variables

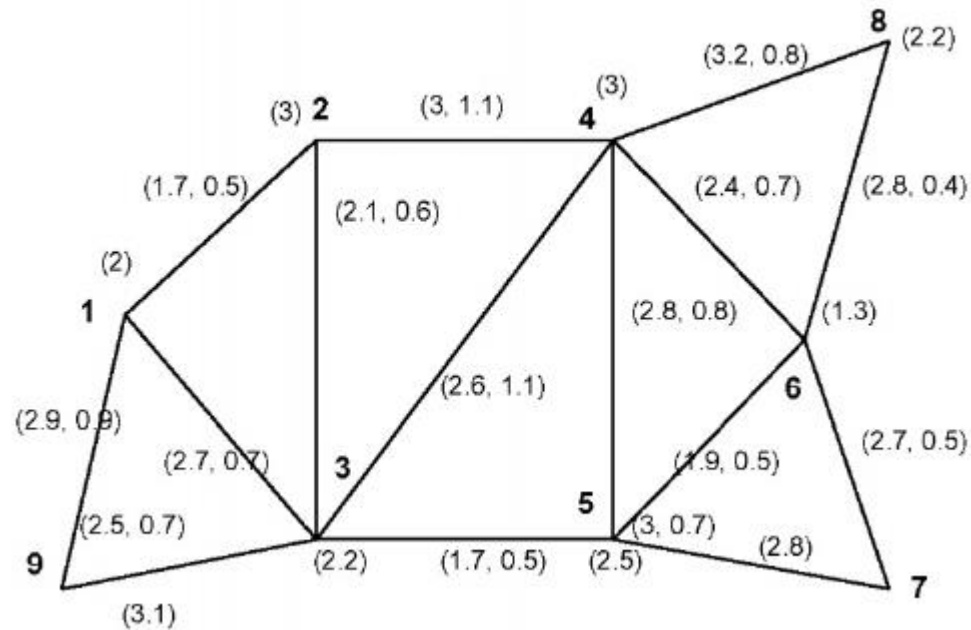
Contenidos

1. Introducción
2. Descripción del Problema
3. Modelo de Optimización
4. Caso de Estudio
5. Conclusiones
6. Extensiones



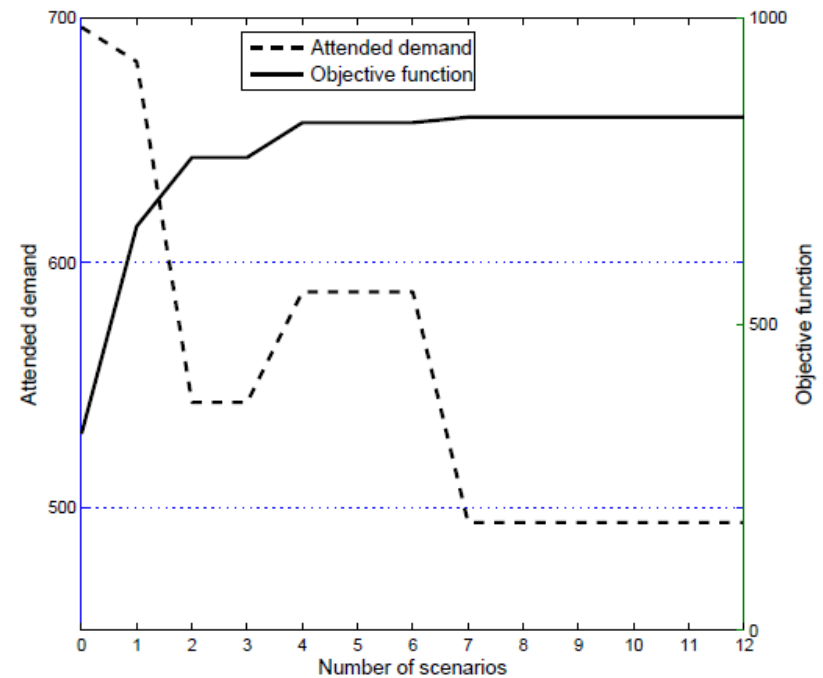
Caso de Estudio

- Nuestros experimentos preliminares se basan en la red R1.
- Cuenta con 9 estaciones, 30 arcos entre estaciones, 72 grupos de demanda y un número total de pasajeros de 1044.



Caso de Estudio

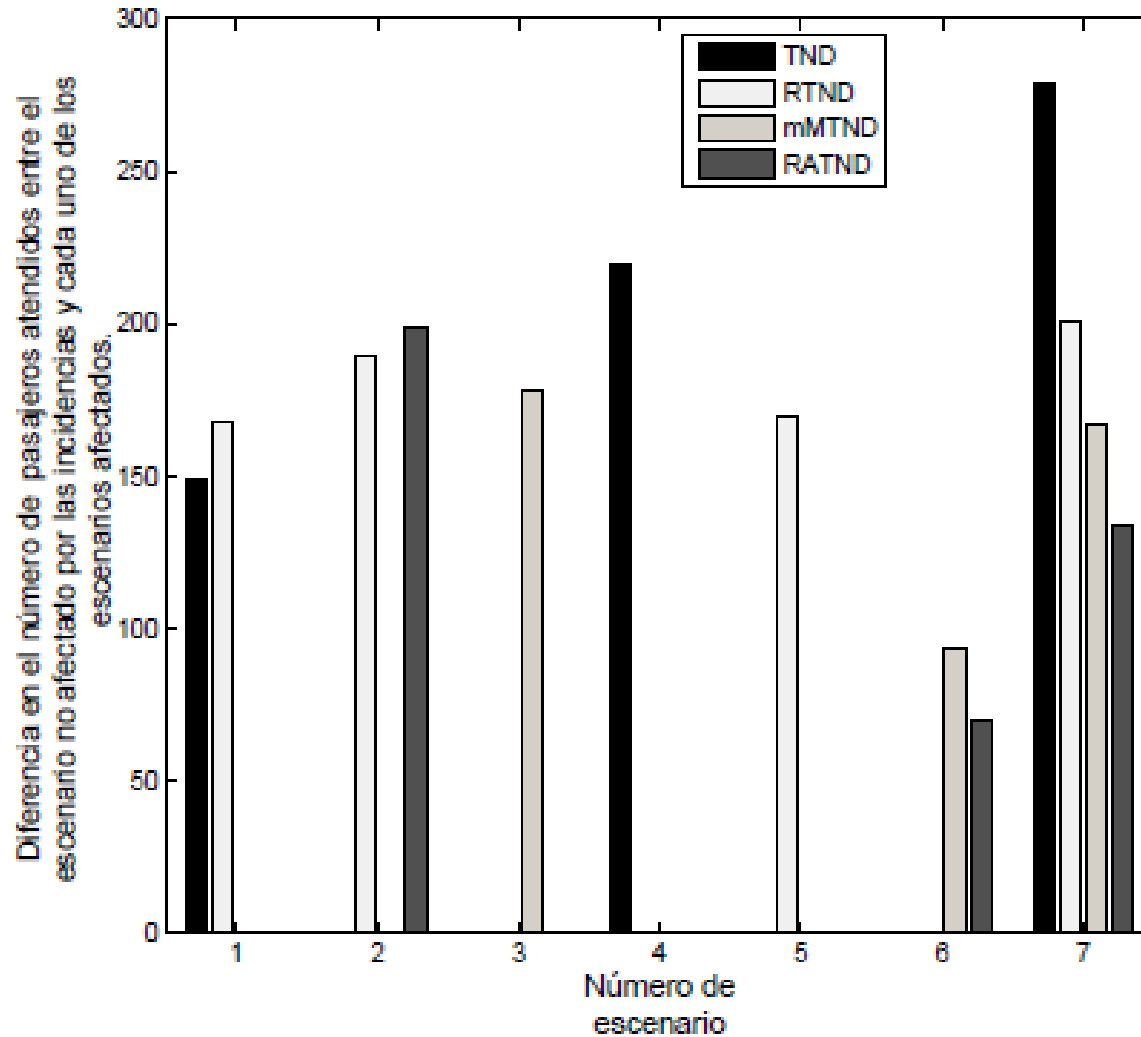
- Los dos enfoques que aquí se presentan, mMTND y RATND, dependen del número de escenarios incluidos en el modelo matemático.
- Cada escenario se caracteriza por el cierre de un arco diferente.
- Los estudios preliminares muestran que las soluciones se estabilizan cuando se incluyen 7 escenarios diferentes para la red R1.



Caso de Estudio

- Además de evaluar las dos aproximaciones presentadas en este trabajo, que dependen de los escenarios, también evaluamos la aproximación tradicional (TND) y la aproximación robusta (RTND).
- Las dos últimas aproximaciones no dependen de los escenarios pero sus soluciones son evaluadas a través de ellos.
- Métrica para comparar: diferencia en el número de pasajeros atendidos en el escenario no afectado por incidencias y cada uno de los escenarios afectados por las incidencias para cada una de las aproximaciones.

Caso de Estudio



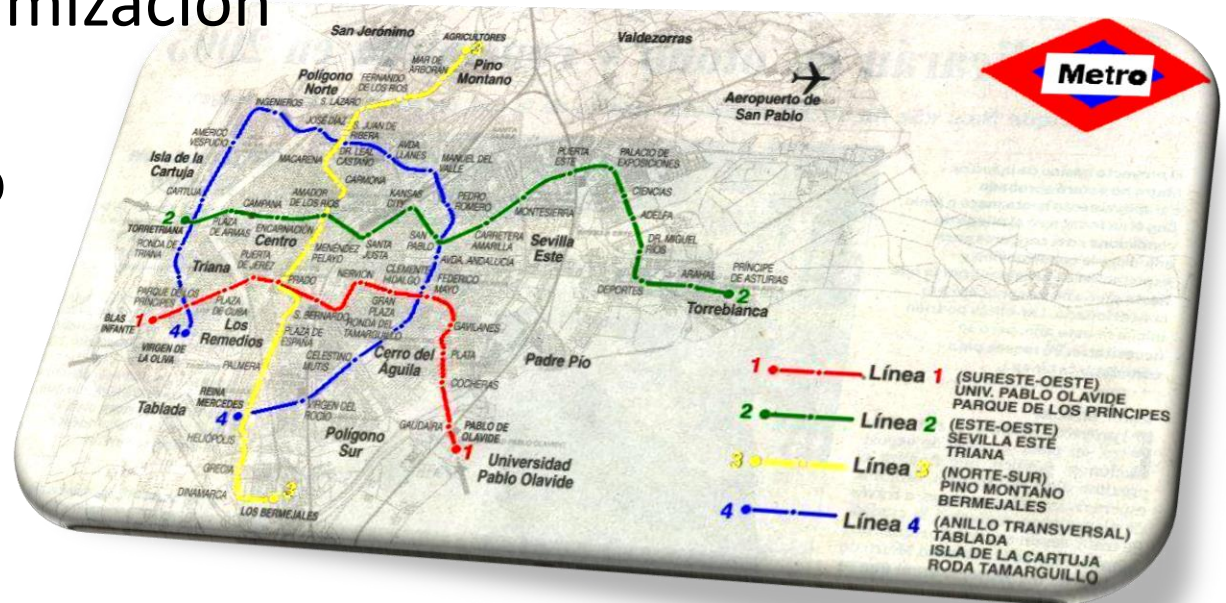
Caso de Estudio

SOLUCIONES TND, RTND, mMTND Y RATND PARA LA RED R1

Solución	z_{loc}	z_{cur}	RCN	Md	μ	σ	ST
TND	49.60	348	60.80	283	92.42	121.24	0.38
RTND	48.60	619.61	47.08	200.89	103.79	97.75	1.94
mMTND	49.50	372	45.50	178	62.57	82.47	3.59
RATND	49.60	362	46.20	199	57.57	80.88	22.06

Contenidos

1. Introducción
2. Descripción del Problema
3. Modelo de Optimización
4. Caso de Estudio
5. Conclusiones
6. Extensiones

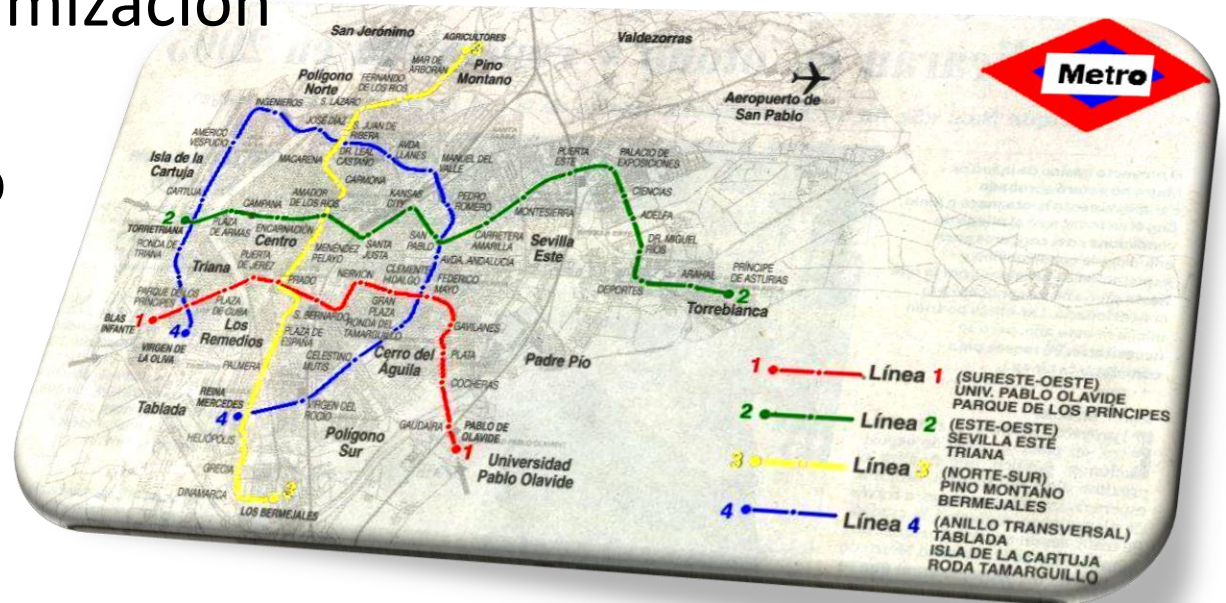


Conclusiones

- Hemos presentado dos nuevas aproximaciones al problema de diseño de una red de transporte.
- La primera pretende minimizar los impactos del peor escenario en el funcionamiento de la red. La segunda tiene en cuenta diferentes perfiles de riesgo y también minimiza los efectos del peor de los escenarios en todos los perfiles de riesgo.
- Hemos comparado estos dos nuevos enfoques con los bien conocidos y estudiados enfoques tradicionales de diseño de redes tanto no robustos como robustos.
- Desde el punto de vista del concepto de robustez recuperable y de acuerdo con los experimentos preliminares realizados, dado un conjunto de perfiles de riesgo, el enfoque RATND se comporta mejor que los enfoques mMTND, RTND y TND.

Contenidos

1. Introducción
2. Descripción del Problema
3. Modelo de Optimización
4. Caso de Estudio
5. Conclusiones
6. Extensiones



Extensiones

- Diseño robusto del aeropuerto:
 - Diseño teniendo en cuenta escenarios de fallo (tráfico, etc.).
 - Restricciones de flujo en algunos arcos de la red.
- Recuperación frente incidencias. Los retrasos de algunos vuelos repercuten en el resto. Recuperación:
 - Pequeñas modificaciones en horarios (ventanas de tiempo).
 - Autorizar o cancelar slots.
- Diseño de aeropuertos robusto y recuperable:
 - Definir algoritmos de recuperación para cada escenario.
 - Penalizar las desviaciones (incidencia mayor, etc.) para cada escenario.
 - Minimizar el coste de diseño del aeropuerto minimizando las desviaciones para el conjunto de soluciones factibles de cada escenario.

