

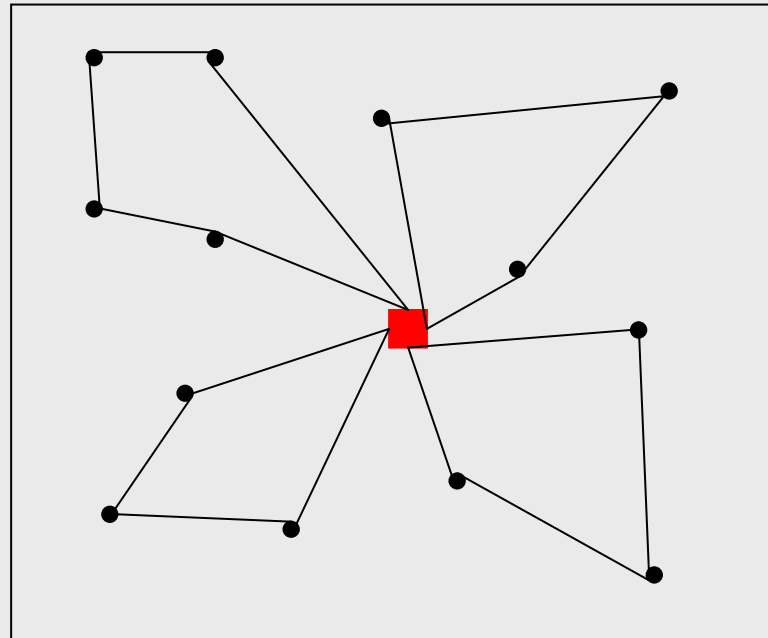
# TRANSPORTE, RUTEO Y ASIGANACION DE VEHICULOS

**IN47B: INGENIERIA DE OPERACIONES**

**JAIME MIRANDA P.**

# PROBLEMA GENERAL DE RUTEO DE VEHÍCULOS

Diseñar rutas de vehículos para satisfacer requerimientos de clientes optimizando función objetivo dada.



- Clientes
- Bodega

# CASO PRACTICO: CHILECTRA

→ EMPRESA: **CHILECTRA S.A.**

- Proporciona de energía eléctrica a toda la región metropolitana

→ DIVISION: **Servicios de emergencia**

- Atención de fallas eléctricas ocurridas en la región metropolitana

→ UNIDAD: **Cordillera**

- Providencia-Las condes-Vitacura

→ SISTEMA ACTUAL

- Despacho vehicular manual
- Operador basado en su experiencia

→ MEDIDA DE CALIDAD DEL SERVICIO

- Rapidez de llegada
- Costos



## → CARACTERISTICAS DEL PROBLEMA

- La unidad debe asignar y clasificar las llamadas de acuerdo a su prioridad
- Existen dos turnos de trabajo de 8 hrs.
- Si llegan fuera de ese horario las atiende la central general de Santiago.

## → La operadora recoge la siguiente información:

- Ubicación geográfica
- Características del problema
- Grado de peligrosidad
- Área afectada



## CARACTERISTICAS DEL PROBLEMA

### → PRIORIDADES DE SERVICIO

- Existencia de 5 niveles de prioridad
- Ningún servicio puede ser retrasado infinitamente
  - Cable caído : Prioridad 1
  - Corte domestico : Prioridad 5

### → IMPORTANCIA DE LOS COSTOS

- Atención en el menor tiempo posible
- Los costos globales de transporte tienen una menor importancia (aunque son significativos)



## SISTEMA PROPUESTO

### → PROBABILIDADES DE NUEVAS REPARACIONES

- Posibles fallas en el futuro
- Colchón de seguridad

### → FUNCION OBJETIVO

- FACTOR IMPORTANTE: Rapidez del servicio
- Toma en cuenta las prioridades de las fallas
- Optimizar la calidad del servicio



## REPRESENTACION DEMANDAS

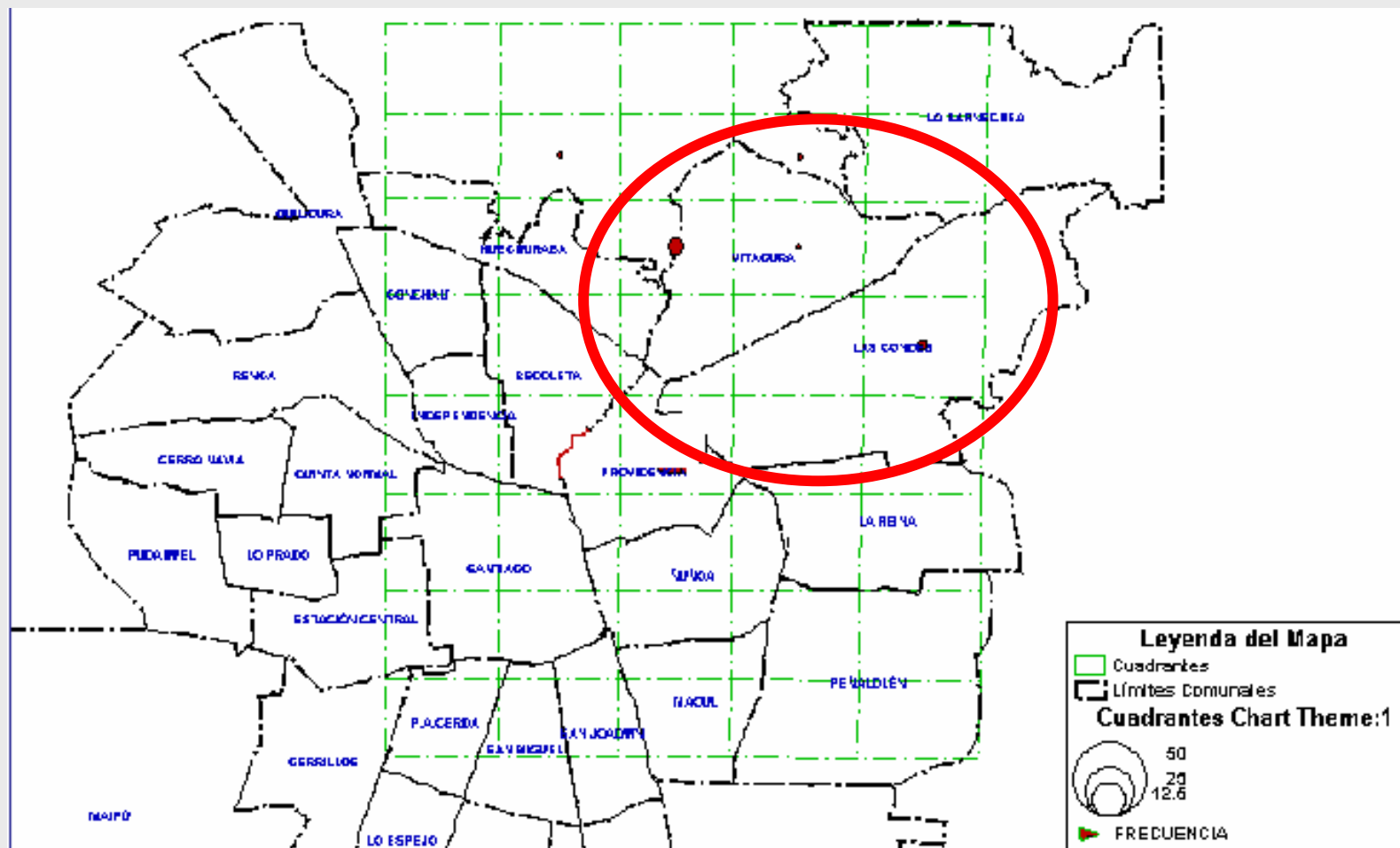
- Uso de nodos para representar zonas
  - De 2 a 5 cuadras
- Se usa frecuencias de falla por zonas
- MODELO: Suavización exponencial

## Tiempos de traslado estimados

- Modelos de tiempo de movilización
- Escenarios de trafico durante las horas del día
  - De 2 a 5 cuadras

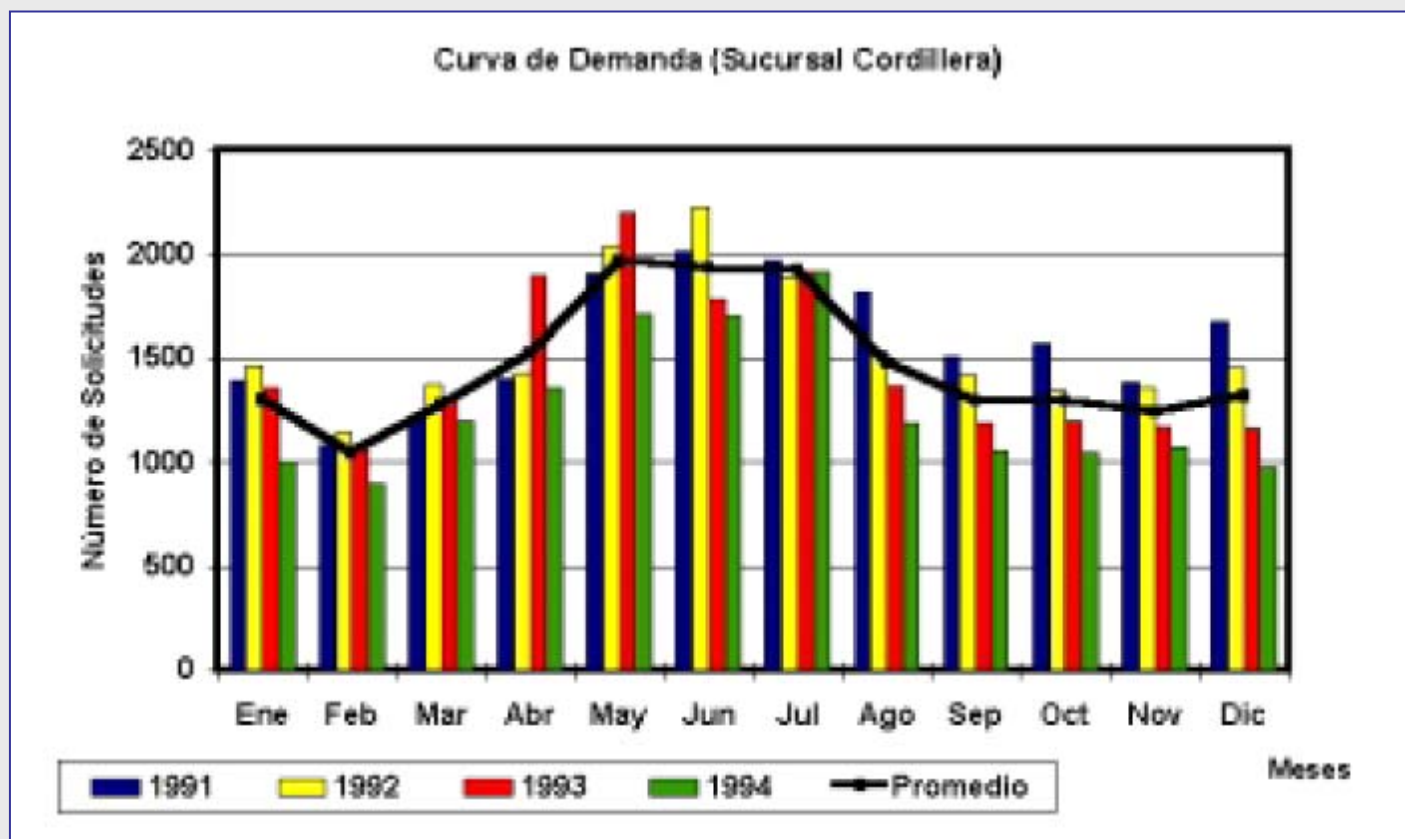


# ZONAS DE DEMANDA

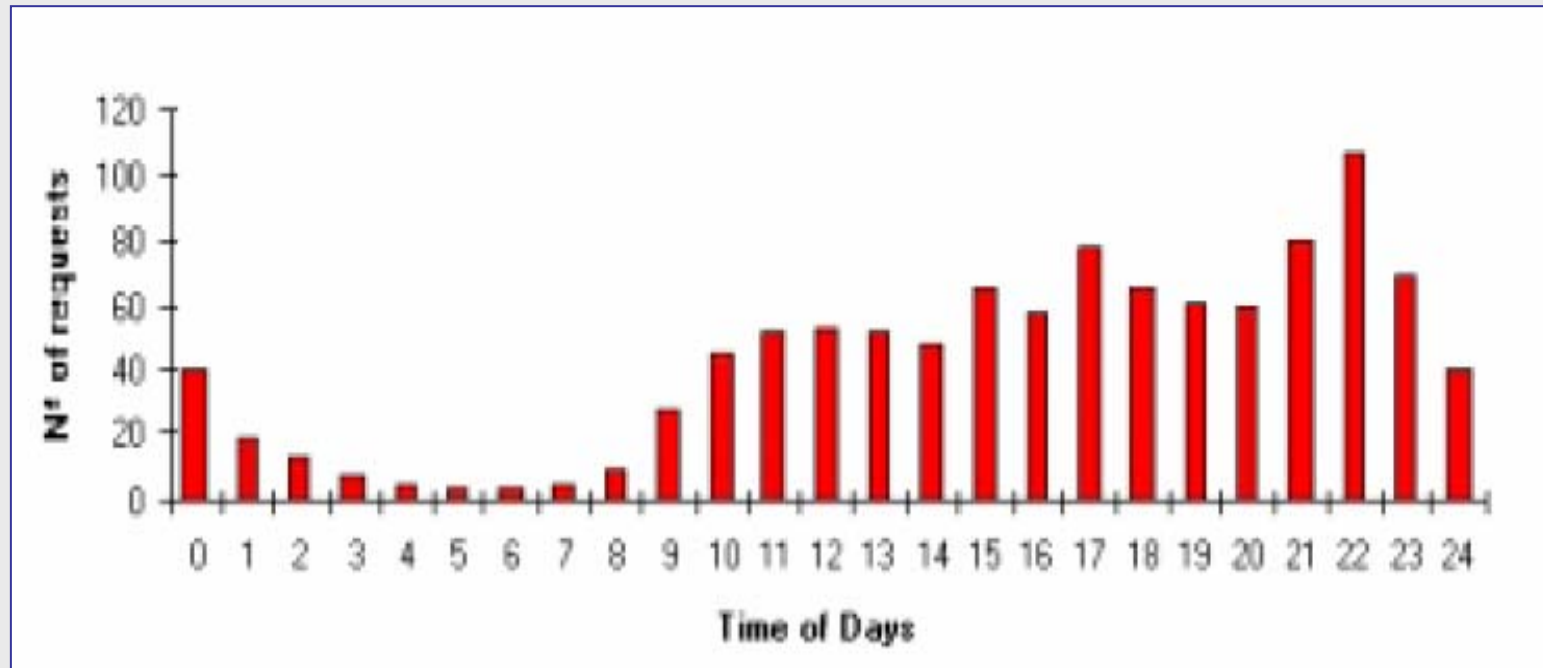




# CURVAS DE DEMANDA HISTORICA MENSUAL



# CURVAS DE DEMANDA DIARIA



## MODELO PROPUESTO

→ MINIMIZACION FUNCION MULTI-OBJETIVO

$$\alpha \sum_{i \in I} P_i T_i + \beta \sum_t \sum_{j \in J} F_j K_{jt}$$

$I$  : Conjunto de fallas conocidas

$J$  : Conjunto de zonas

$P_i$  : Ponderación de factor prioridad para la falla  $i$

$T_i$  : Tiempo de servicio, incluyendo el tiempo de demora antes que un vehículo llegue al sitio de avería  $i$

$F_j$  : Demanda esperada (numero de averías) para zona  $j$

$K_{jt}$  : Factor de castigo que depende de la distancia de los vehículos de la zona  $j$  en el período  $t$



## PONDERACIONES DE LA FUNCIÓN OBJETIVO ( $\alpha$ y $\beta$ )

- $\alpha$  : Ponderador para la calidad del servicio
- $\beta$  : Factor de castigo mala ubicación vehículos frente a demandas futuras

## ¿Cómo se pueden fijar los parámetros?

- Fijación a priori.
- Fijación interactiva: depende de las preferencias de los usuarios.
- EN CHILECTRA FUERON FIJADOS POR MODELOS DE SIMULACION



# CASO PRACTICO: CHILECTRA (7)

## PONDERACION DE PRIORIDADES DE FALLAS $P_i$

- Están relacionadas a las diferentes fallas.
- Fueron definidas por la empresa

PRIORIDADES	
TIPO	PONDERACION ( $P_i$ )
1	10
2	5
3	3
4	2
5	1



## VARIACION TEMPORAL DE LAS PRIORIDADES DE FALLAS $P_i$

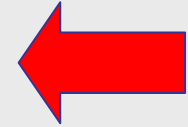
- Dependen del tiempo de espera.
- Fueron calibradas solo para la división Cordillera.

VARIACION TEMPORAL		
INICIAL	VARIACION PRIORIDAD	TIEMPO (min.)
2	1	240
3	2	120
4	3	60
5	4	30



## → DE BODEGA A CLIENTES

- Los vehículos salen de la bodega, visitan a los clientes y vuelven a la bodega.
  - Ejemplos: CCU, Correos, y Falabella.



## → IDA Y VUELTA ENTRE ORÍGENES Y DESTINOS:

- Los vehículos recogen carga en los orígenes y entregan en los destinos. Caso típico de los recursos naturales.
  - Ejemplos: cobre, madera y caña de azúcar.

## FORMAS

### → RUTEO ESTÁTICO

- Se planea ruta a comienzo del día.

### → RUTEO DINÁMICO

- Clientes se agregan en tiempo real.

## Problemas de Implementación:

### → ¿Cómo incorporar información en tiempo real?

- GPS (Sistemas de Posicionamiento Geográfico).
- Comunicación Satelital.
- Displays gráficos.



## Problema del Vendedor Viajero (TSP)

→ PARÁMETROS:

$c_{ij}$  : costo de utilizar el arco (i, j).

$S$  : subconjunto de clientes.

→ VARIABLES

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se utiliza arco (i, j).} \\ 0 & \sim \end{cases}$$

→ FUNCIÓN OBJETIVO

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

# PROBLEMA “CLASICO 1”

## → RESTRICCIONES

- Por cada cliente debe pasar exactamente una vez:

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n.$$

- De cada cliente debe salir exactamente una vez:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n.$$

- Eliminación de subcircuitos:

$$\sum_{(i,j): i \in S, j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall 2 \leq |S| \leq n - 2.$$

- Naturaleza de las variables:

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j.$$

## RUTEO CON CAPACIDAD

→ PARÁMETROS:

$a_{ik}$  : uso de capacidad del cliente  $i$ .

$b$  : capacidad de los vehículos.

→ VARIABLES

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } i \text{ es visitado por el vehículo } k. \\ 0 & \sim \end{cases}$$

→ FUNCIÓN OBJETIVO

$$\text{Min } z = \sum_k f(y_k)$$

$$y_k = (y_{ok}, \dots, y_{nk})$$

# PROBLEMA “CLASICO 2”

- Limite de capacidad del camión

$$\sum_i a_{ik} y_{ik} \leq b \quad \forall k. \quad (1)$$

- Cada cliente se asigna a un vehículo ( $K$  se asignan a la bodega):

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} K & i = 0. \\ 1 & \forall i \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

- Naturaleza de las variables:

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k. \quad (3)$$

$$\text{Min } z = \sum_k f(y_k)$$

$$y_k = (y_{ok}, \dots, y_{nk})$$

$$\sum_i a_{ik} y_{ik} \leq b \quad \forall k. \quad (1)$$

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} K & i = 0. \\ 1 & \forall i \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i,k. \quad (3)$$

→ Relajación lagrangeana de la restricción (1):

→ Queda un problema por cliente.

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= \sum_i \sum_k \bar{d}_{ik} y_{ik} \\ \text{s.a. } \sum_k y_{ik} &= \begin{cases} K & i = 0. \\ 1 & \forall i \neq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k. \quad (3)$$

- Se debe elegir, para cada cliente, el vehículo más barato.
- Es fácil de resolver, pero tiene la propiedad de la integralidad.
- Se, viola la capacidad de los vehículos (Heurística: reasignar clientes).

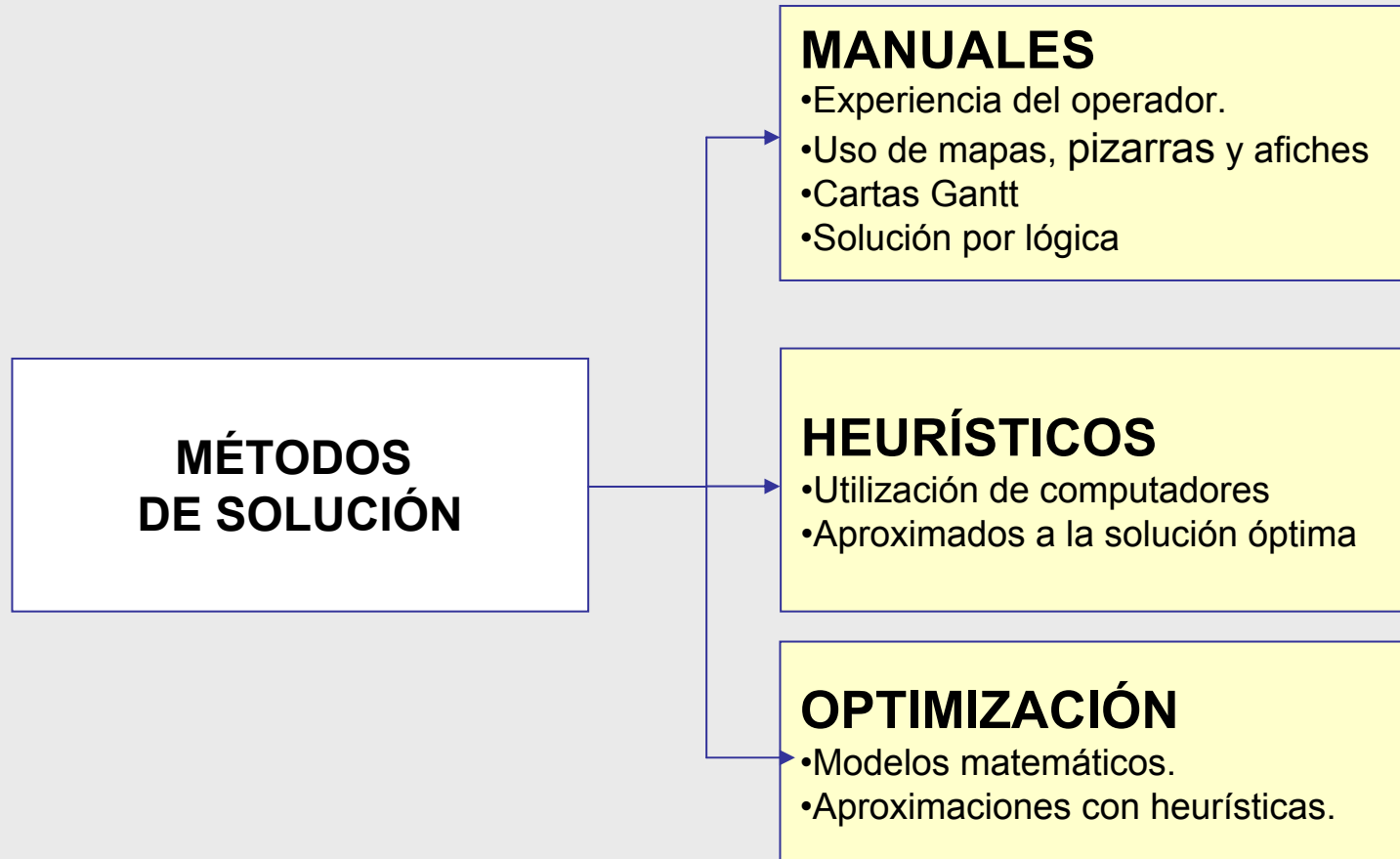
→ Relajación lagrangeana de la restricción (2):

→ Queda un problema por vehículo.

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= \sum_i \sum_k d_{ik} y_{ik} \\ \text{s.a. } \sum_i a_{ik} y_{ik} &\leq b \quad \forall k. \quad (1) \\ y_{ik} &\in \{0,1\} \quad \forall i,k. \quad (3) \end{aligned}$$

→ Para cada vehículo  $k$ , se tiene un problema de la mochila.

→ Se puede resolver mediante programación dinámica.





## HEURÍSTICAS SIMPLES

### → Construcción de rutas

- Añadir arcos mediante algún criterio hasta obtener una solución factible.

### → Mejoramiento de rutas

- A partir con una solución de ruteo y hacer intercambios de clientes en las rutas para mejorar las soluciones.

### → Agrupar y rutear

- Primero asignar clientes a vehículos, para luego rutearlos bien (problema del vendedor viajero).

## MÉTODO DE AGRUPAR Y RUTEAR

→ Los clientes se consideran como puntos en un plano.

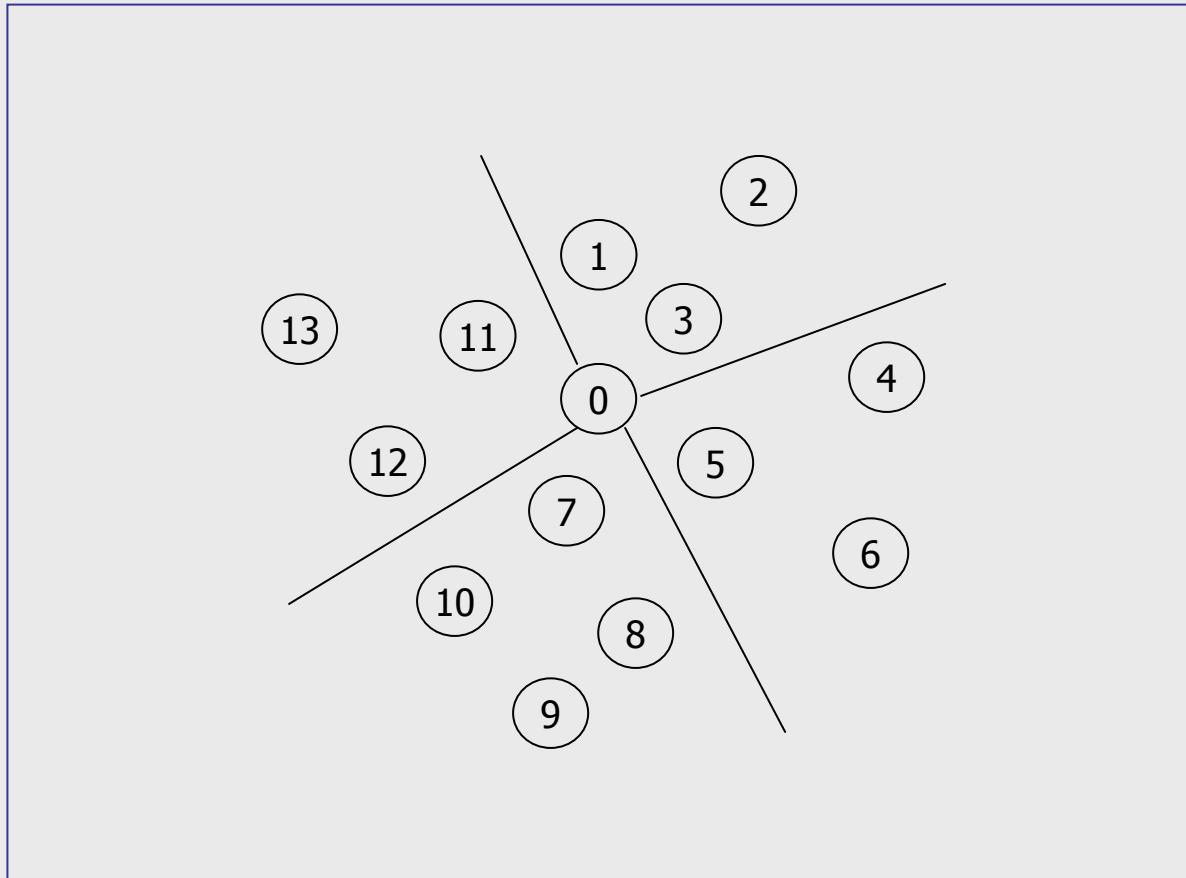
→ Fase 1:

- Se asignan clientes a vehículos en forma polar.
- Se van sumando clientes en una dirección hasta llenar la capacidad del vehículo.
- Se puede combinar barrido polar con zonas.

→ Fase 2:

- Se rutea (problema del vendedor viajero).

# HEURISTICAS SIMPLES (2)



## CONSTRUCCIÓN DE RUTAS (Clarke y Wright 1964):

→ Paso 0

- Asignar un vehículo por cliente, con costos por cliente  $c_{oi} + c_{io}$ .

→ Paso 1

- Combinar dos clientes para un vehículo tal que  $c_{oi} + c_{ij} + c_{jo} < c_{oi} + c_{io} + c_{oj} + c_{jo}$ , con una ganancia  $s_{ij} = c_{io} + c_{oj} - c_{ij}$ .

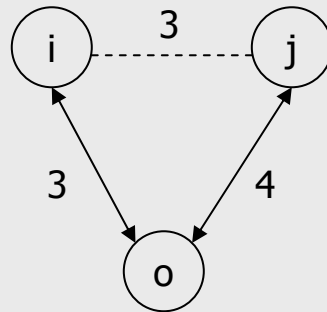
Se combinan los clientes con mejor  $s_{ij}$ .

→ Paso 3

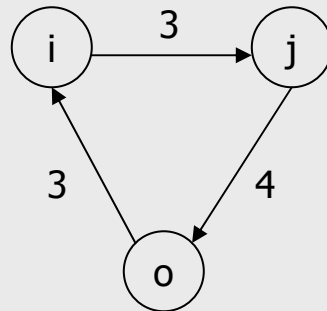
- Los clientes  $i$  y  $j$  se consideran ahora como un solo cliente. De esta manera se siguen juntando clientes hasta llegar a una solución factible.

# HEURISTICAS SIMPLES (4)

## EJEMPLO



$$\text{Costo} = 3 + 3 + 4 + 4 = 14$$

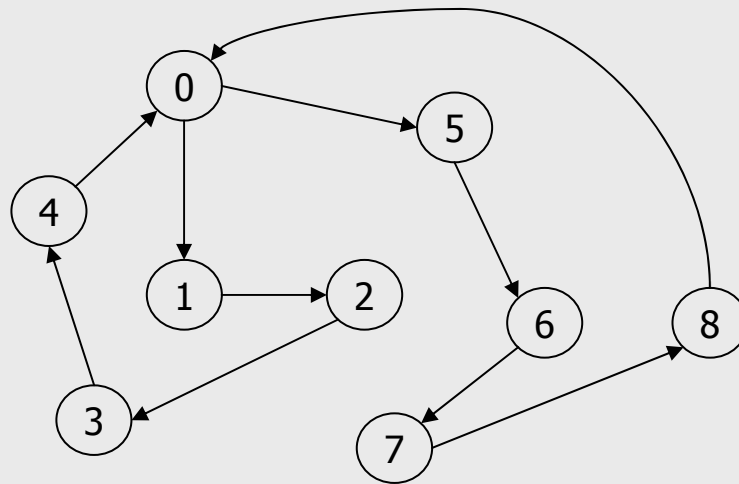


$$\text{Costo} = 3 + 3 + 4 = 10$$

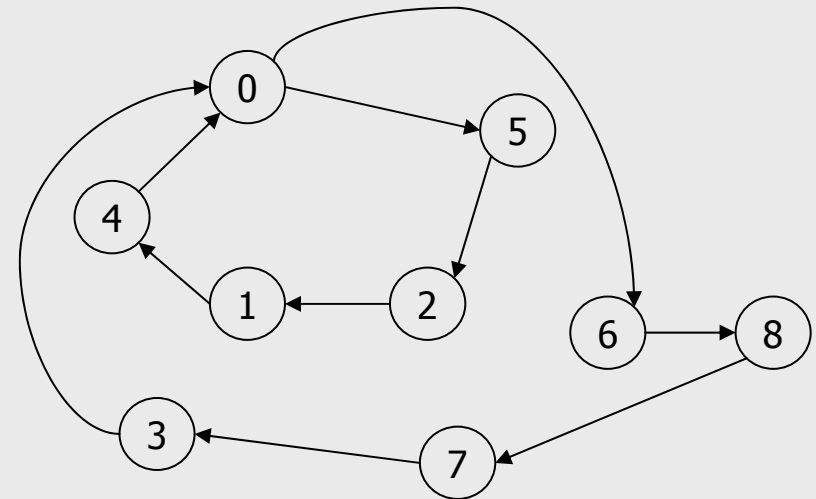
## ENFOQUE DE MEJORAMIENTO (Lin y Kernigan 1973)

- Partir con una solución factible (K rutas).
- Intercambiar 1, 2 o 3 clientes (arcos) y ver si la solución mejora.
- Se prueban muchas modificaciones.

# HEURISTICAS SIMPLES (6)

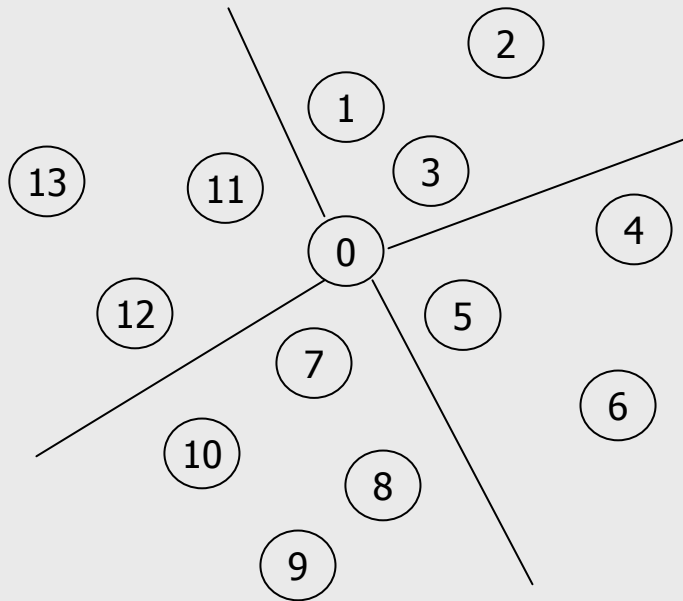


Intercambiando 3 y 5  $\Rightarrow$



## CREACION DE LAS RUTAS

- 1º: Agrupación de clientes.
- 2º ruteo
  - Vecino más cercano.
  - Métodos de inserción.





## IMPLEMENTACION DEL SISTEMA PROPUESTO

- 2 semanas de prueba
- Hubo una mejora de un 16% en el tiempo promedio

COMPARACION DE SISTEMAS		
	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
Tiempo de servicio promedio	31,2	27
Desviación estándar	18	13,2



## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO Y TRABAJO FUTURO

- Sistema implantado mejora significativamente el tiempo de respuesta a las fallas.
- Gran diferencia en los periodos de mayor demanda (lluvia). 16%-53% mejora tiempos de respuesta.
- Automatización del sistema de operadores.
- Recolección de los datos “On-line”.
- Uso de GPS en cada vehículo
- Mayores apoyos en los sistemas de comunicación en línea



# TRANSPORTE, RUTEO Y ASIGANACION DE VEHICULOS

**IN47B: INGENIERIA DE OPERACIONES**

**JAIME MIRANDA P.**