El Problema del Vendedor Viajero

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile

IN47B, Ingeniería de Operaciones

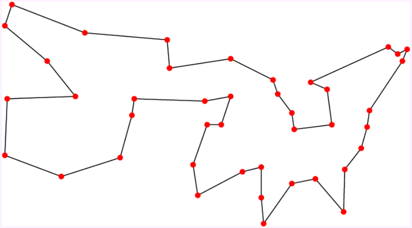
12 de septiembre de 2006

Contenidos

Contenidos

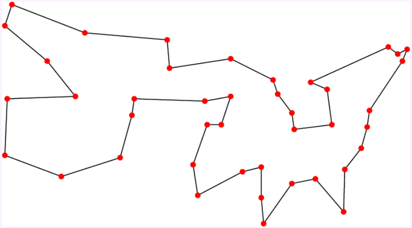
Definición:

Dado un conjunto finito de *ciudades*, y costos de viaje entre todos los pares, visitar todas las ciudades exactamente una vez a costo mínimo.



Definición:

Dado un conjunto finito de *ciudades*, y costos de viaje entre todos los pares, visitar todas las ciudades exactamente una vez a costo mínimo.



Mas precisamente:

Asumimos costos *simétricos*, i.e. viajar desde la ciudad X a la ciudad Y tiene el mismo costo que viajar desde la ciudad Y a la ciudad X. La condición *de visitar todas las ciudades* implica que el problema se reduce a decidir en que orden las ciudades van a ser visitadas.

- Primeras referencias datan del 1832, para vendedores viajeros.
- Karl Menger, 1930, (Shortest Hamiltonian Path).
- J.B. Robinson, “On the Hamiltonian game (a traveling-salesman problem)”, 1949. Esta es la primera referencia del problema como es conocido hoy en dia.
- G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson, ”Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, 1954. Solución de una instancia de 49 ciudades (capitales de los estados de USA), introducción de cortes y branching.
- M. Held and R.M. Karp, .^ dynamic programming approach to sequencing problems”, 1962. introducción de heuristicas basadas en programmación dinámica.

Historia

- Primeras referencias datan del 1832, para vendedores viajeros.
- Karl Menger, 1930, (Shortest Hamiltonian Path).
- J.B. Robinson, “On the Hamiltonian game (a traveling-salesman problem)”, 1949. Esta es la primera referencia del problema como es conocido hoy en dia.
- G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson, ”Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, 1954. Solución de una instancia de 49 ciudades (capitales de los estados de USA), introducción de cortes y branching.
- M. Held and R.M. Karp, .^ dynamic programming approach to sequencing problems”, 1962. introducción de heuristicas basadas en programmación dinámica.

Historia

- Primeras referencias datan del 1832, para vendedores viajeros.
- Karl Menger, 1930, (Shortest Hamiltonian Path).
- J.B. Robinson, “On the Hamiltonian game (a traveling-salesman problem)”, 1949. Esta es la primera referencia del problema como es conocido hoy en dia.
- G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson, ”Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, 1954. Solución de una instancia de 49 ciudades (capitales de los estados de USA), introducción de cortes y branching.
- M. Held and R.M. Karp, .ª dynamic programming approach to sequencing problems”, 1962. introducción de heuristicas basadas en programmación dinámica.

- Primeras referencias datan del 1832, para vendedores viajeros.
- Karl Menger, 1930, (Shortest Hamiltonian Path).
- J.B. Robinson, “On the Hamiltonian game (a traveling-salesman problem)”, 1949. Esta es la primera referencia del problema como es conocido hoy en dia.
- G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson, ”Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, 1954. Solución de una instancia de 49 ciudades (capitales de los estados de USA), introducción de cortes y branching.
- M. Held and R.M. Karp, .^ dynamic programming approach to sequencing problems”, 1962. introducción de heuristicas basadas en programmación dinámica.

- Primeras referencias datan del 1832, para vendedores viajeros.
- Karl Menger, 1930, (Shortest Hamiltonian Path).
- J.B. Robinson, “On the Hamiltonian game (a traveling-salesman problem)”, 1949. Esta es la primera referencia del problema como es conocido hoy en dia.
- G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson, ”Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, 1954. Solución de una instancia de 49 ciudades (capitales de los estados de USA), introducción de cortes y branching.
- M. Held and R.M. Karp, .^{A} dynamic programming approach to sequencing problems”, 1962. introducción de heuristicas basadas en programmación dinámica.

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397
1998	[idem]	13,509

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397
1998	[idem]	13,509
2001	[idem]	15,112

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397
1998	[idem]	13,509
2001	[idem]	15,112
2004	[idem] and Helsgaun	24,978

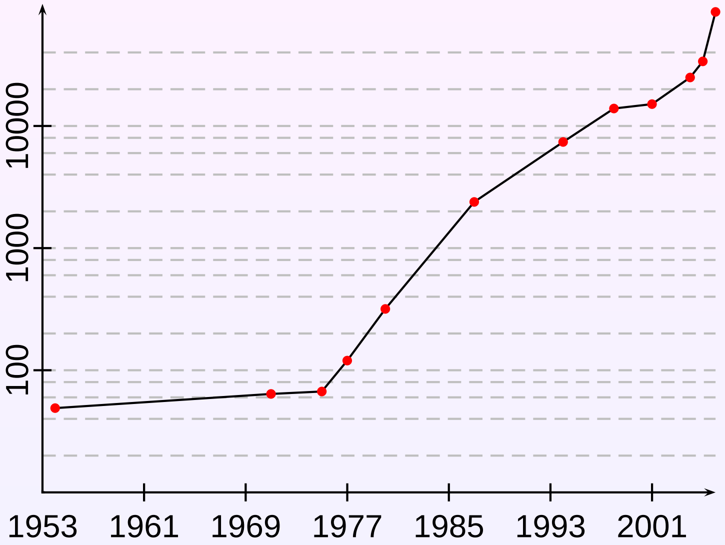
Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397
1998	[idem]	13,509
2001	[idem]	15,112
2004	[idem] and Helsgaun	24,978
2005	Cook, Espinoza and Goycoolea	33,810

Record TSP en el tiempo

Año	Autores	Ciudades
1954	Dantzig, Fulkerson, and Johnson	49
1971	Held and Karp	64
1975	Camerini, Fratta, and Maffioli	67
1977	Grötschel	120
1980	Crowder and Padberg	318
1987	Padberg and Rinaldi	532
1987	Grötschel and Holland	666
1987	Padberg and Rinaldi	2,392
1994	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	7,397
1998	[idem]	13,509
2001	[idem]	15,112
2004	[idem] and Helsgaun	24,978
2005	Cook, Espinoza and Goycoolea	33,810
2006	Cook	85,900

Record TSP en el tiempo



Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.

Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
  - Bus Escolar.
  - Atención de Llamadas de Emergencia.
  - Servicio de Correo Expreso.

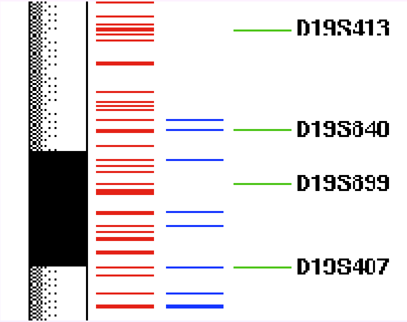
Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
  - Bus Escolar.
  - Atención de Llamadas de Emergencia.
  - Servicio de Correo Expreso.

- Ruteo de Vehículos.
  - Bus Escolar.
  - Atención de Llamadas de Emergencia.
  - Servicio de Correo Expreso.

Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamiento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.

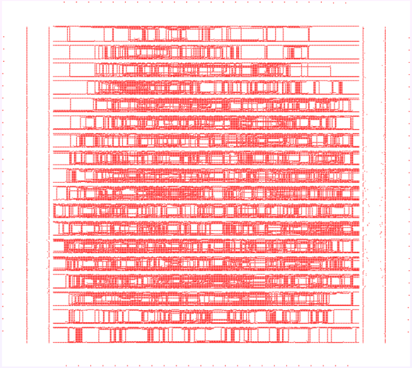


Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamiento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.

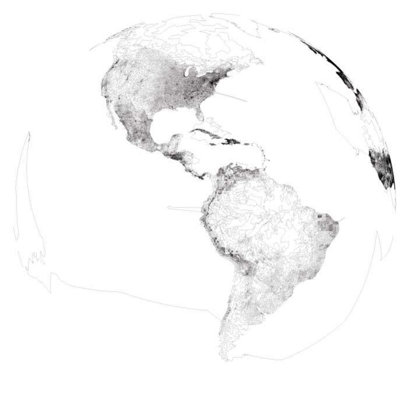
Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamiento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.



Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamiento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.



Algunas Aplicaciones del TSP

- Ruteo de Vehículos.
- Secuenciamiento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.


SCIENCE

Santa Claus and the traveling salesman problem

Old Saint Nick has one night to deliver gifts to children around the world. To save time and wear and tear on his sleigh, Santa plots the shortest journey possible among thousands of cities. It sounds easy enough, and for Santa it probably is, but for scientists, who call it the traveling salesman problem (TSP), it is a challenge that grows increasingly difficult as more and more cities are added to the list.

Traveling salesman problem explained

Solution for Santa

Solving problem for more cities requires computers

Years ago

Everyday uses for TSP

A record

The hardware involved

Contenidos

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.
- Heurística de Held-Karp tiene una garantía de $n^2 2^n$ para el caso general.
- Con distancias *euclidianas*, hay heurísticas con garantía de $\frac{1}{2}$.
- Con distancias *euclidianas*, buenas soluciones heurísticas estan dentro del 1-5 % del óptimo.
- ¿Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5{,}56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155{,}97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2{,}564{,}60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386{,}522{,}04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - 10 ciudades : $\approx 10^{5,56}$ posibilidades.
  - 100 ciudades : $\approx 10^{155,97}$ posibilidades.
  - 1,000 ciudades : $\approx 10^{2,564,60}$ posibilidades.
  - 85,900 ciudades : $\approx 10^{386,522,04}$ posibilidades.
  - Edad del universo : $\approx 10^{18}$ segundos.
  - Número de átomos en el universo: $< 10^{100}$.
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.
- Heurística de Held-Karp tiene una garantía de $n^2 2^n$ para el caso general.
- Con distancias *euclidianas*, hay heurísticas con garantía de $\frac{1}{2}$.
- Con distancias *euclidianas*, buenas soluciones heurísticas estan dentro del 1-5 % del óptimo.
- ¿Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.
- Heurística de Held-Karp tiene una garantía de $n^2 2^n$ para el caso general.
- Con distancias *euclidianas*, hay heurísticas con garantía de $\frac{1}{2}$.
- Con distancias *euclidianas*, buenas soluciones heurísticas estan dentro del 1-5 % del óptimo.
- ¿Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?

Enumeración y Heurísticas

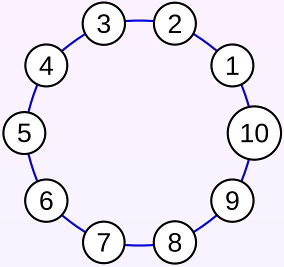
- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.
- Heurística de Held-Karp tiene una garantía de $n^2 2^n$ para el caso general.
- Con distancias *euclidianas*, hay heurísticas con garantía de $\frac{1}{2}$.
- Con distancias *euclidianas*, buenas soluciones heurísticas estan dentro del 1-5 % del óptimo.
- ¿Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?

Enumeración y Heurísticas

- ¿Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?
  - Enumeración solo para problemas muy pequeños.
- Heurística de Held-Karp tiene una garantía de $n^2 2^n$ para el caso general.
- Con distancias *euclidianas*, hay heurísticas con garantía de $\frac{1}{2}$.
- Con distancias *euclidianas*, buenas soluciones heurísticas estan dentro del 1-5 % del óptimo.
- ¿Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?

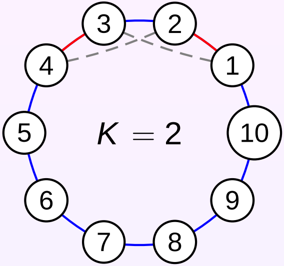
Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.



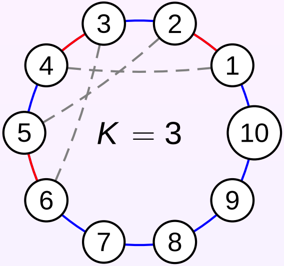
Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.



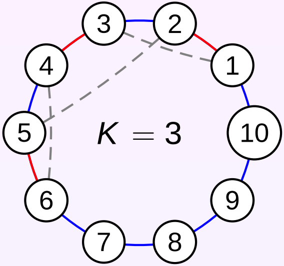
Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.



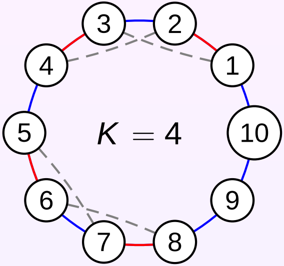
Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.



Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.



Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.

K	Casos
2	1
3	4
4	20
5	148
6	1368
7	15104
8	198144
9	2998656
10	51290496

Heurísticas K-Opt

- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.

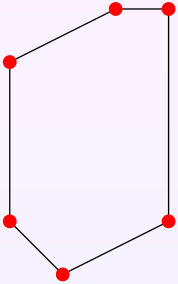
K	Casos
2	1
3	4
4	20
5	148
6	1368
7	15104
8	198144
9	2998656
10	51290496

Heurísticas K-Opt

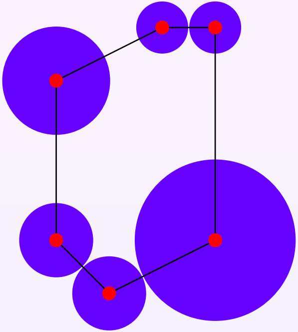
- Reemplazar 2 arcos.
- Reemplazar 3 arcos (¿Como conectamos?).
- Reemplazar K arcos.
- Lin-Kernighan usa reemplazos de pares.
- Lin-Kernigham-Helsgun usa reemplazos de 5 arcos.
- Heurísticas no proveen cotas para el problema.

K	Casos
2	1
3	4
4	20
5	148
6	1368
7	15104
8	198144
9	2998656
10	51290496

- ¿Como obtener cotas o garantías?
- Circulos disjuntos a ciudades.
- Bandas sin intersección a subconjuntos de ciudades.
- Dos veces la suma de los radios da cota inferior.
- ¿Como encontramos radios y bandas?

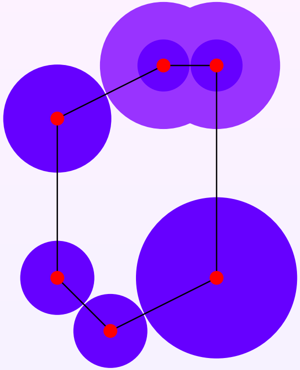


- ¿Como obtener cotas o garantías?
- Circulos disjuntos a ciudades.
- Bandas sin intersección a subconjuntos de ciudades.
- Dos veces la suma de los radios da cota inferior.
- ¿Como encontramos radios y bandas?



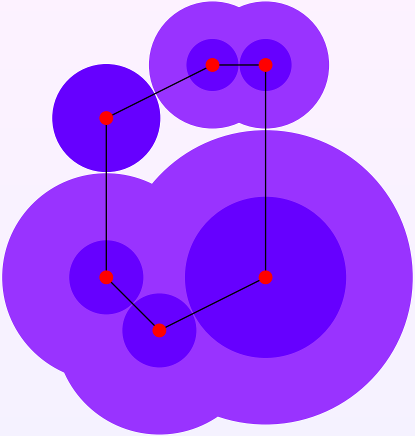
Obteniendo Cotas

- ¿Como obtener cotas o garantías?
- Circulos disjuntos a ciudades.
- Bandas sin intersección a subconjuntos de ciudades.
- Dos veces la suma de los radios da cota inferior.
- ¿Como encontramos radios y bandas?



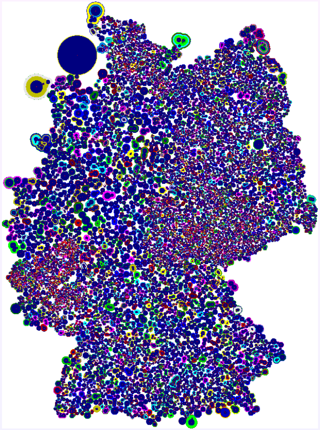
Obteniendo Cotas

- ¿Como obtener cotas o garantías?
- Circulos disjuntos a ciudades.
- Bandas sin intersección a subconjuntos de ciudades.
- Dos veces la suma de los radios da cota inferior.
- ¿Como encontramos radios y bandas?



- ¿Como obtener cotas o garantías?
- Circulos disjuntos a ciudades.
- Bandas sin intersección a subconjuntos de ciudades.
- Dos veces la suma de los radios da cota inferior.
- ¿Como encontramos radios y bandas?

15,112 ciudades en Alemania, cota a 0.74 % de la solución óptima



Definiciones previas:

- V Conjunto de ciudades a considerar.
- E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a,b) : a,b \in V, a \neq b\}$.
- c Costo de las connecciones entre ciudades.
- $\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a,b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum (c_e x_e : e \in E) \\
& \sum (x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 \quad \forall v \in V \\
\text{s.t.} \quad & \sum (x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 \quad \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
& x_e \in \{0,1\} \quad \forall e \in E
\end{aligned}
$$

Definiciones previas:

V Conjunto de ciudades a considerar.

E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a,b) : a,b \in V, a \neq b\}$.

c Costo de las connecciones entre ciudades.

$\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a,b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$\begin{array}{lll} \min & \sum(c_e x_e : e \in E) & \\ & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\ s.t. & \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\ & x_e \in \{0,1\} & \forall e \in E \end{array}$$

Definiciones previas:

- V Conjunto de ciudades a considerar.
- E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a,b) : a, b \in V, a \neq b\}$.
- c Costo de las connecciones entre ciudades.
- $\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a,b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$
\begin{array}{lll}
\min & \sum (c_e x_e : e \in E) & \\
 & \sum (x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\
\text{s.t.} & \sum (x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
 & x_e \in \{0,1\} & \forall e \in E
\end{array}
$$

Definiciones previas:

- V Conjunto de ciudades a considerar.
- E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a,b) : a, b \in V, a \neq b\}$.
- c Costo de las connecciones entre ciudades.
- $\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a,b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$
\begin{array}{lll}
\min & \sum (c_e x_e : e \in E) & \\
 & \sum (x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\
\text{s.t.} & \sum (x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
 & x_e \in \{0, 1\} & \forall e \in E
\end{array}
$$

Definiciones previas:

- V Conjunto de ciudades a considerar.
- E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a, b) : a, b \in V, a \neq b\}$.
- c Costo de las connecciones entre ciudades.
- $\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a, b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$
\begin{array}{lll}
\min & \sum (c_e x_e : e \in E) & \\
\text{s.t.} & \sum (x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\
& \sum (x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
& x_e \in \{0, 1\} & \forall e \in E
\end{array}
$$

Definiciones previas:

- V Conjunto de ciudades a considerar.
- E Conecciones entre ciudades, i.e. $E = \{(a,b) : a,b \in V, a \neq b\}$.
- c Costo de las connecciones entre ciudades.
- $\delta(S)$ Arcos cruzando la frontera de un conjunto, i.e. $\delta(S) = \{(a,b) \in E : a \in S, b \in V \setminus S\}$.

Formulacion como IP:

$$
\begin{aligned}
\text{mín} \quad & \sum (c_e x_e : e \in E) \\
& \sum (x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 \quad \forall v \in V \\
\text{s.t.} \quad & \sum (x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 \quad \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
& x_e \in \{0,1\} \quad \forall e \in E
\end{aligned}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{lll}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\
 & \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
 & x_e \in [0,1] & \forall e \in E
\end{array}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{lllr}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & & \forall v \in V \\
& \quad \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
& \qquad\qquad x_e \in [0,1] & & \forall e \in E
\end{array}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{lrll}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & & \forall v \in V \\
 & \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
 & x_e \in [0,1] & & \forall e \in E
\end{array}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{lrl}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V \\
 & \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V \\
 & x_e \in [0,1] & \forall e \in E
\end{array}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$\begin{array}{lllr}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V & \color{red}{(r_v)} \\
& \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V & \\
& x_e \in [0,1] & \forall e \in E &
\end{array}$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{llll}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V & (r_v) \\
& \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V & (W_S) \\
& x_e \in [0,1] & \forall e \in E &
\end{array}
$$

Problemas de la formulación discreta

- Tanto o más difícil que contar permutaciones.
- Número de variables es $|V|(|V|-1)/2$.
- No existen algoritmos eficientes para resolver.

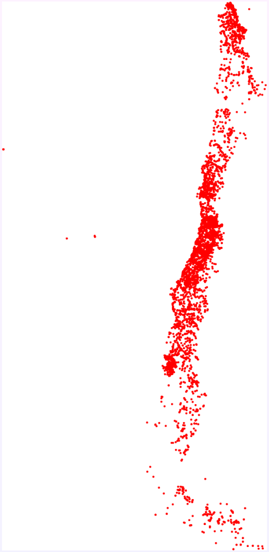
Relajación continua (SEP):

$$
\begin{array}{llll}
\min & \sum(c_e x_e : e \in E) & & \\
\text{s.t.} & \sum(x_e : e \in \delta(\{v\})) = 2 & \forall v \in V & (r_v) \\
& \sum(x_e : e \in \delta(S)) \geq 2 & \forall \emptyset \subsetneq S \subsetneq V & (W_S) \\
& x_e \in [0,1] & \forall e \in E &
\end{array}
$$

Puede Resolverse eficientemente.

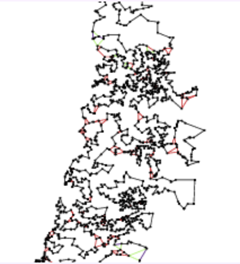
Cotas obtenidas del SEP

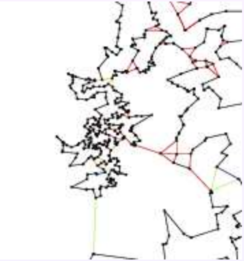
0.69 % gap para chile5445



Cotas obtenidas del SEP

0.69 % gap para chile5445





IP atravez de LP

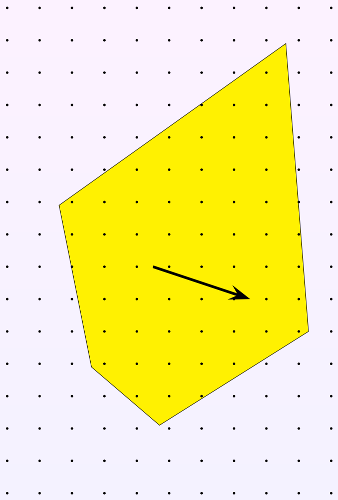
Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.

IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

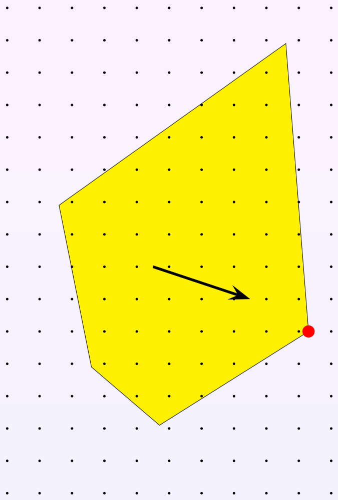
1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

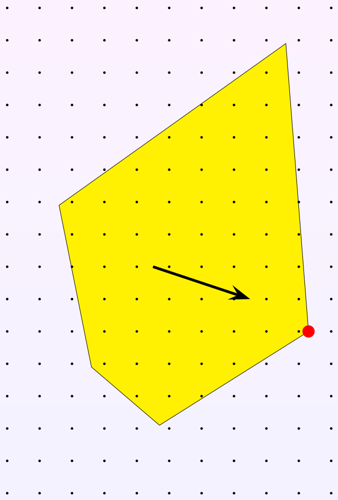
1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

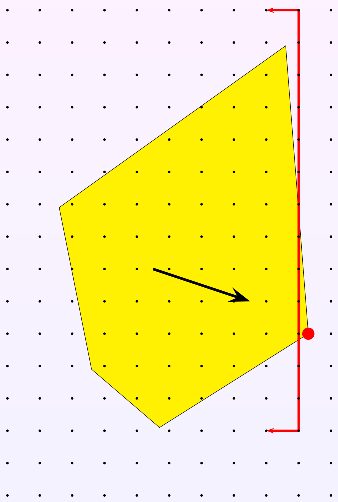
1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

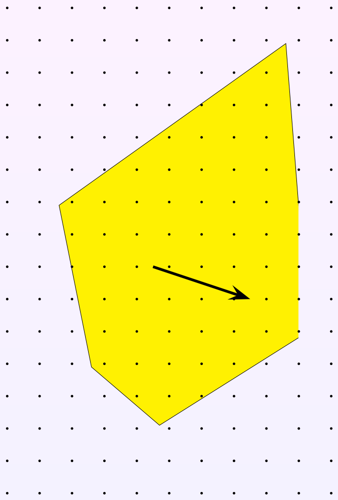
1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

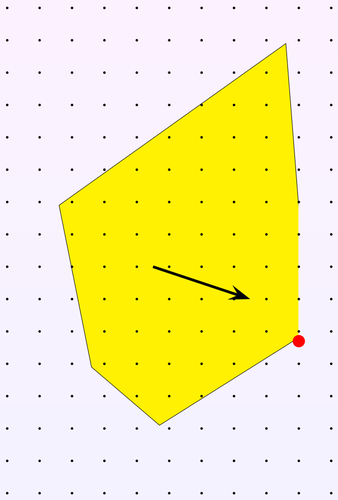
1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



IP atravez de LP

Propuesto por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) para al TSP.

1. Considerar relajación continua.
2. Obtener solución óptima x^*.
3. x^* entera?, terminar.
4. Buscar restricción válida para puntos enteros.
5. Agregar a la formulación continua.
6. Volvar a 2.



(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour
- Blossom (Edmonds 1965)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)

(Algunos) Cortes Estructurales

- Subtour (separable)
- Blossom (Edmonds 1965)(separable)
- Combs (Chvátal 1973, Grötschel y Padberg 1979)
- Clique-Tree (Grötschel y Pulleyblank 1986)
- Star, Path (Fleischmann 1988, Cornuéjols et al. 1985)
- Bipartition (Boyd y Cunningham 1991)
- Binested (Nadeff 1992)
- Double Deckers (Applegate et. all 1994)
- Domino Parity (Letchford 2000)(planar)
- K-Parity (Cook, Espinoza, Goycoolea 2004)(planar)

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}$, $x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}, x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}, x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}, x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}$, $x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

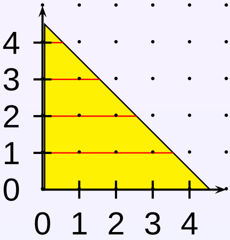
Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

- $x_2 \in \mathbb{Z}, x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

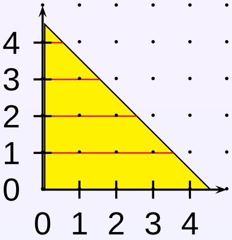
- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
    - Considerar solo una restricción (básica).
    - Redondeo entrega corte automáticamente.
    - En teoría resuelve cualquier IP.



- $x_2 \in \mathbb{Z}$, $x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

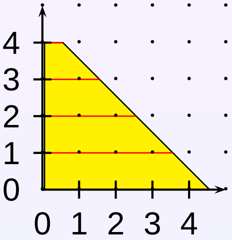
- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.



- $x_2 \in \mathbb{Z}$, $x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

- Idea: generar cortes automáticamente.
- Base: usar una versión simplificada del problema.
- Cortes de Gomory (1958) dentro de esta clase.
  - Considerar solo una restricción (básica).
  - Redondeo entrega corte automáticamente.
  - En teoría resuelve cualquier IP.

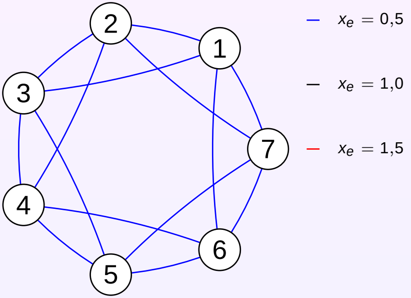


- $x_2 \in \mathbb{Z}$, $x_1 \in \mathbb{R}^+$
- $P = \{(x_1, x_2) : x_1 + x_2 \leq 4{,}5\}$.
- $x_1 + x_2 \leq 4{,}5, x_1 \geq 0 \Rightarrow x_2 \leq 4{,}5$
- $x_2 \leq 4$.

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

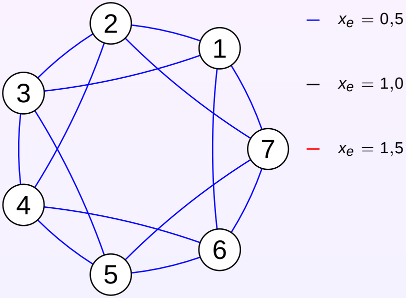
- Reducir a un TSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

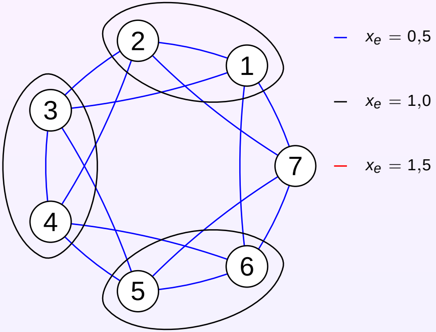
- Reducir a un TSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

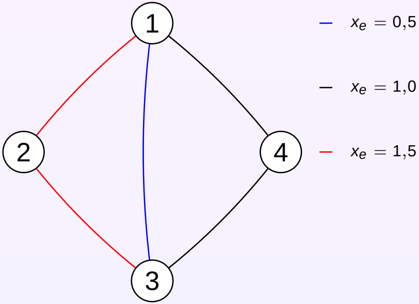
- Reducir a un TSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Dado x^* solución fraccionaria, y P polihedro:

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Dado x^* solución fraccionaria, y P polihedro:

$x^* \in P$?

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Dado x^* solución fraccionaria, y P polihedro:

Sea $\{v_k : k = 1, \ldots, K\}$ puntos extremos de P.

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Dado x^* solución fraccionaria, y P polihedro:

Sea $\{v_k : k = 1, \ldots, K\}$ puntos extremos de P.

$$
\begin{aligned}
\textit{min} \quad & 0 \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{k=1,\ldots,K} \alpha_k v_k = x^* \\
& \sum_{k=1,\ldots,K} \alpha_k = 1 \\
& \alpha_k \in [0,1]
\end{aligned}
$$

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Dado x^* solución fraccionaria, y P polihedro:

Sea $\{v_k : k = 1, \ldots, K\}$ puntos extremos de P.

$$\begin{array}{ll} min & 0 \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1,\ldots,K} \alpha_k v_k = x^* \\ & \sum_{k=1,\ldots,K} \alpha_k = 1 \\ & \alpha_k \in [0,1] \end{array}$$

Cortes no estructurados

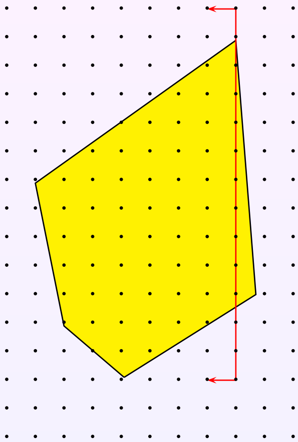
Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Formulación de MIP:

$$\begin{array}{llll} \min & cx & & \\ \text{s.t.} & Ax & \leq & b \\ & Rx & \in & \mathbb{Z}^k \end{array}$$

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Formulación de MIP:

$$\begin{array}{llll} min & cx & & \\ \text{s.t.} & Ax & \leq & b \\ & Rx & \in & \mathbb{Z}^k \end{array}$$

Relajación:

$$\begin{array}{llll} min & cx & & \\ \text{s.t.} & Ax & \leq & b \\ & QRx & \in & \mathbb{Z}^3 \end{array}$$

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?

Formulación de MIP:

$$\begin{array}{llcl} min & cx & & \\ \text{s.t.} & Ax & \leq & b \\ & Rx & \in & \mathbb{Z}^k \end{array}$$

Relajación:

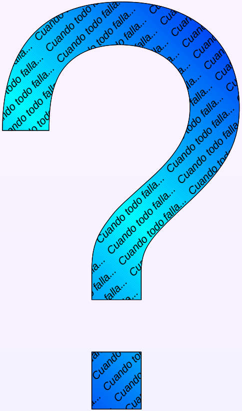
$$\begin{array}{llcl} min & cx & & \\ \text{s.t.} & Ax & \leq & b \\ & QRx & \in & \mathbb{Z}^3 \end{array}$$

Usar separación como antes

Cortes no estructurados

Local Cuts en el TSP:

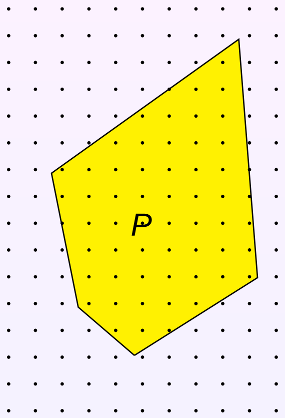
- Reducir a un GTSP pequeño (16-48 nodos).
- Separar punto fraccionario.
- Si punto es separable, agregar corte.
- Problemas numéricos.
- Extensión a MIP.
- Cuando todo falla, ¿Qué podemos hacer?



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

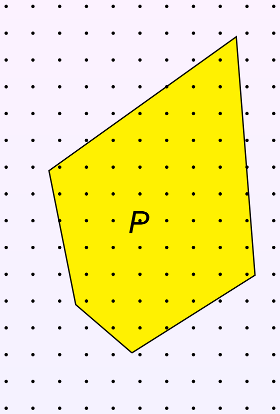
- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

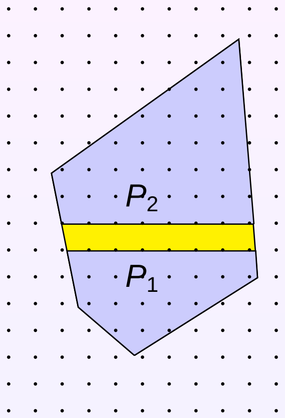
- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

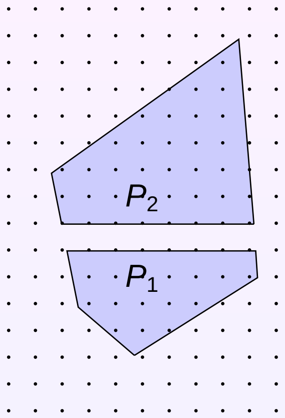
- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

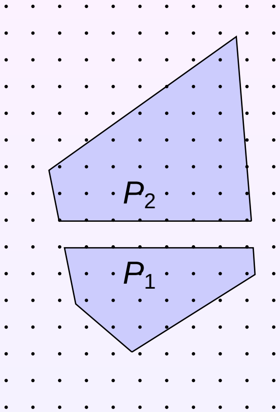
- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

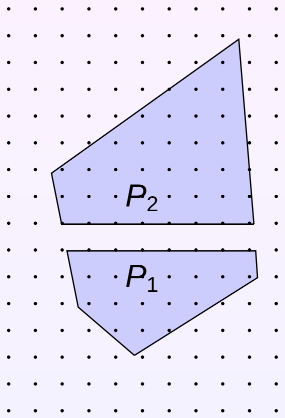
- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Entre enumeración y Programación Lineal

Strong Branching (Dividir para reinar)

- Crear sub-problemas mas fáciles.
- Fijar cotas para una variable.
- Resolver cada sub-problema.
- Escoger mayor impacto.
- Usar junto con planos cortantes.



Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021
DP + LC 32	40003.294	21159	0.019

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021
DP + LC 32	40003.294	21159	0.019
DP + LC 40	40004.291	60269	0.017

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021
DP + LC 32	40003.294	21159	0.019
DP + LC 40	40004.291	60269	0.017
DP + LC + Branching	40008.475	+3 dias	0.007

Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021
DP + LC 32	40003.294	21159	0.019
DP + LC 40	40004.291	60269	0.017
DP + LC + Branching	40008.475	+3 dias	0.007
LKH	40031.459	46	-0.051

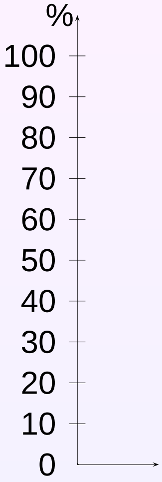
Resultados Numéricos (chile5445)

Mejor solución: 40011.091Km

Conf.	Valor	Tiempo	GAP (%)
Subtour	39755.198	134	0.639
Cortes Heuristicos	39846.738	25518	0.470
Local Cuts (24)	39994.941	14509	0.040
Domino Parity	40001.294	10863	0.024
DP + LC 24	40002.578	14160	0.021
DP + LC 32	40003.294	21159	0.019
DP + LC 40	40004.291	60269	0.017
DP + LC + Branching	40008.475	+3 dias	0.007
LKH	40031.459	46	-0.051
Primera Solución	44594.459	3	-11.455

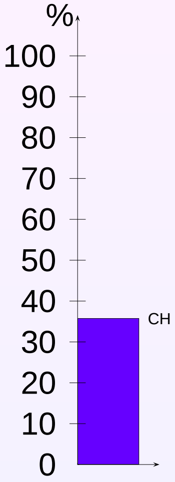
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo



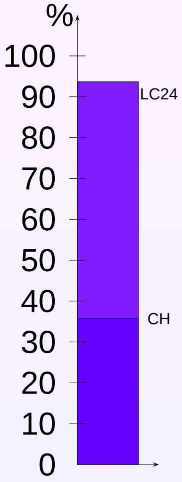
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relati-vo
Cortes Heurísticos	35.773



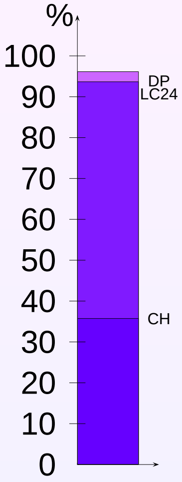
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689



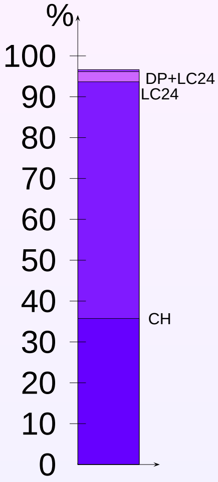
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171



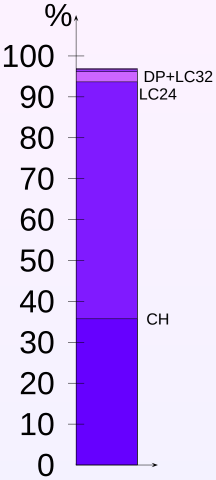
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171
DP + LC 24	96.673



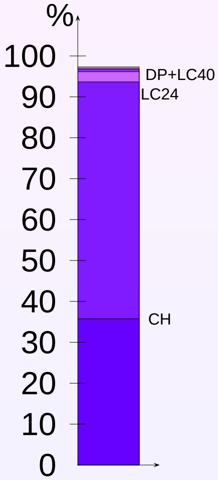
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171
DP + LC 24	96.673
DP + LC 32	96.953



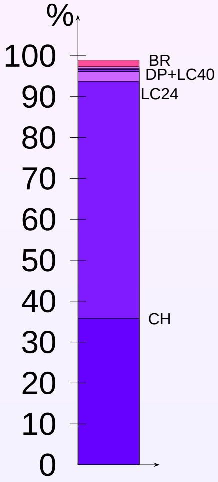
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171
DP + LC 24	96.673
DP + LC 32	96.953
DP + LC 40	97.343



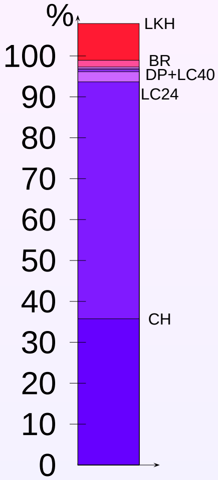
Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171
DP + LC 24	96.673
DP + LC 32	96.953
DP + LC 40	97.343
DP + LC + Branching	98.978



Resultados Numéricos (Sobre Sub-Tour)

Configuración	GAP Relativo
Cortes Heurísticos	35.773
Local Cuts (24)	93.689
Domino Parity	96.171
DP + LC 24	96.673
DP + LC 32	96.953
DP + LC 40	97.343
DP + LC + Branching	98.978
LKH	107.960



Contenidos

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
    - Solución factible.
    - Buena solución.
    - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
    - Solución factible.
    - Buena solución.
    - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Conclusiones

- TSP ofrece un punto de referencia dentro de IP.
- Estrategia depende del objetivo:
  - Solución factible.
  - Buena solución.
  - Optimalidad.
- Muchas técnicas generales han nacido del TSP.
- Importancia de generación de cortes.
- Problemas numéricos.
- Posibilidad de extender Local Cuts para MIP.

Gracias
Preguntas?