

# Optimización: Historia, Aplicaciones y Futuro

Dpto. Ingeniería Industrial

Universidad de Chile

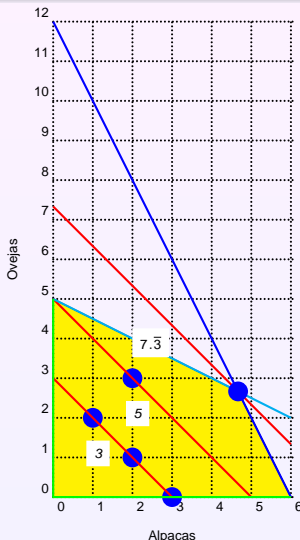
19 de marzo de 2012

# Contenidos

- 1 El camino recorrido
- 2 Aplicaciones modernas
- 3 El Fin

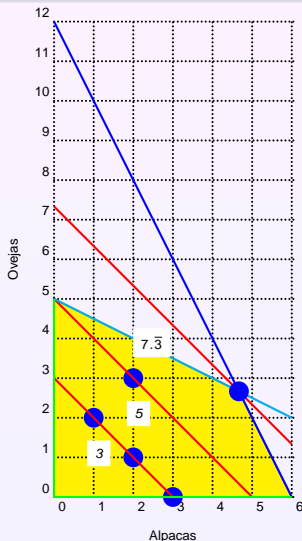
# ¿Ovejas o Alpacas?

- Pensemos que por cada oveja o alpaca obtendremos una ganancia de 1.
  - Dos ovejas y una alpaca nos daría 3.
  - Una oveja y dos alpacas nos daría 3.
  - Cero oveja y tres alpacas nos daría 3.
  - Tres ovejas y dos alpacas nos daría 5.
- ¿Hay algún límite?
  - Si cada oveja come una unidad de comida, y las alpacas dos, y sólo poseemos 12 unidades de comida:
  - Si cada oveja bebe dos



# ¿Qué hemos hecho?

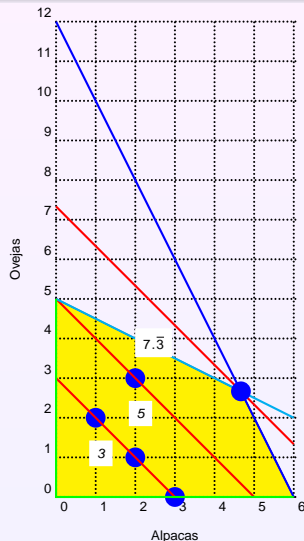
- ¿Qué hicimos?
  - Identificamos decisiones: cuantas ovejas  $x_o$  y llamas  $x_l$  tener en el predio.
  - Definimos cómo comparación entre distintas soluciones (función objetivo)
  - Definimos condiciones sobre los posibles valores de las decisiones.
  - Definimos una manera de buscar la mejor solución
- Podríamos usar algo parecido para un problema de qué plantar?



Un primer ejemplo

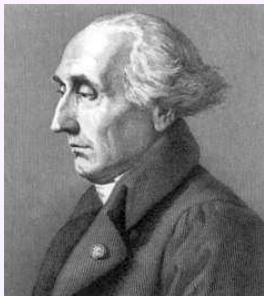
## En términos matemáticos:

$$\begin{array}{llll}
 \max & x_o + x_l & & \text{objetivo} \\
 \text{t.q.} & 2x_o + x_l \leq 10 & & \text{agua} \\
 & x_o + 2x_l \leq 12 & & \text{comida} \\
 & x_o \geq 0 & & \text{positividad} \\
 & x_l \geq 0 & & \text{positividad}
 \end{array}$$



# Optimización... en modelos de la física

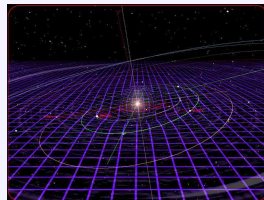
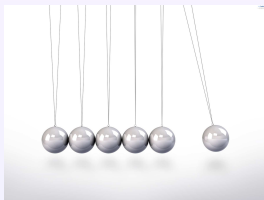
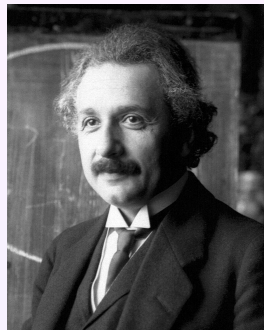
**Lagrange** (1736-1813)



**Gauss** (1777-1855)



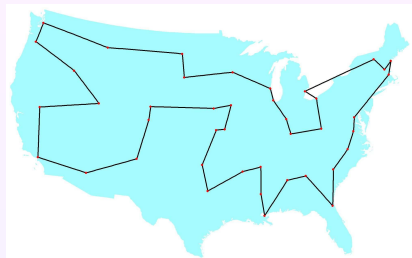
**Einstein** (1879-1955)



# Problema del Vendedor Viajero:

## Definición:

Dado un conjunto finito de *ciudades*, y costos de viaje entre todos los pares de ciudades, encontrar la forma mas barata de visitar todas las ciudades exactamente una vez, y volver al punto de partida.



## Mas precisamente:

Los costos son *simétricos* en el sentido de que 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.

# Historia del Vendedor Viajero

- 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 día.
- 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 heurísticas basadas en programación dinámica.



# Algunas Aplicaciones del TSP

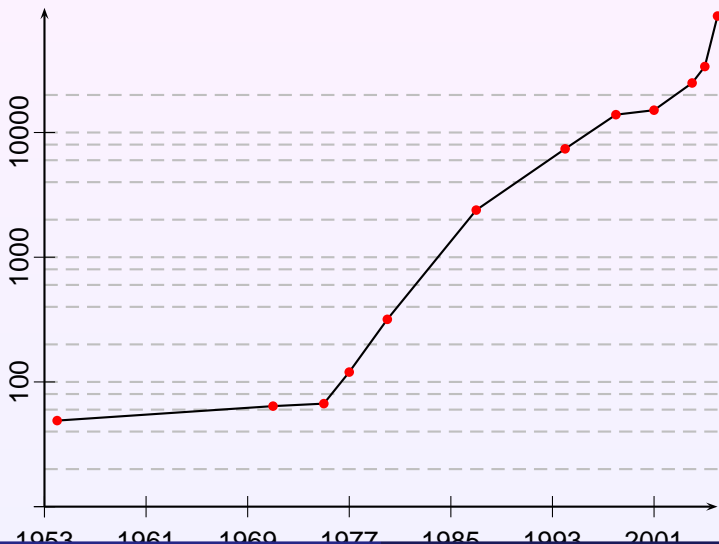
- Vehicle Routing.
  - Bus Escolar.
  - Atención de Llamadas de Emergencia.
  - Servicio de Correo Expreso.
- Secuenciamento de genes.
- Ordenamiento de observaciones en telescopios (NASA).
- Diseño de chips.
- Tour Mundial.
- El problema del Viejo Pascuero.



# Récord TSP en el tiempo

Año	Autores	Número 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	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	13,509
2001	Applegate, Bixby, Chvátal, and Cook	15,112
2004	Applegate, Bixby, Chvátal, Cook, and Helsgaun	24,978
2005	Cook, Espinoza and Goycoolea	33,810
2006	Cook, Espinoza and Goycoolea	85,900

# Récord TSP en el tiempo



# Enumeración y Heurísticas

- Podemos enumerar las soluciones y escoger la mejor?.
  - 10 ciudades :  $\approx 10^{5,5}$  posibilidades.
  - 100 ciudades :  $\approx 10^{156}$  posibilidades.
  - 1,000 ciudades :  $\approx 10^{2,565}$  posibilidades.
  - 33,810 ciudades :  $\approx 10^{138,441}$  posibilidades.
  - Edad del universo :  $\approx 10^{18}$  segundos.
  - Número de átomos en el universo:  $< 10^{100}$ .
  - Enumeración solo es posible para problemas muy pequeños.
- La heurística de Held-Karp tiene una garantía de  $n^2 2^n$  para el caso general.
- Si asumimos que las distancias son *euclidianas* hay heurísticas con garantía de  $\frac{1}{2}$ .
- Cuando las distancias son *euclidianas* buenas soluciones heurísticas están dentro del 1-5 % del óptimo.
- Como obtenemos mejores garantías para algún problema particular?.

De la física a la Guerra

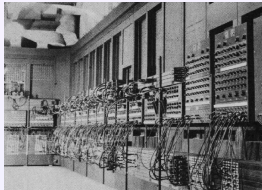
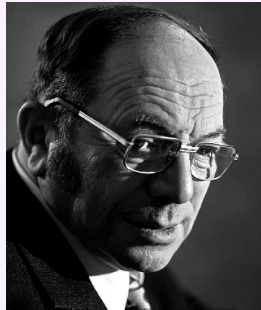
# Optimización... en la guerra

Franklin D. Roosevelt Winston Churchill (1874- Leonid Kantorovich

(1882-1945)

1965)

(1912-1986)



El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

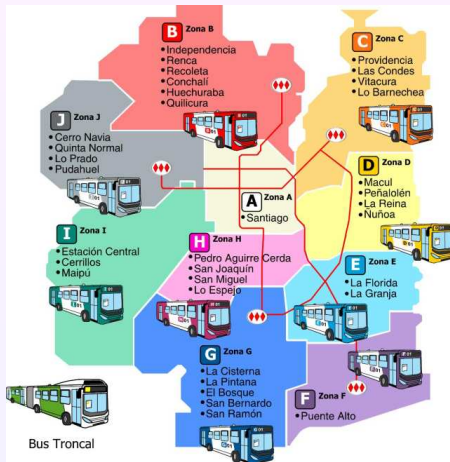
# Definición del Problema:



- Velocidad:
- Considerando categorización emergencia.
- Decidir qué despachar para minimizar tiempo de arribo.
- Secuencia completa de bombas a despachar.

El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

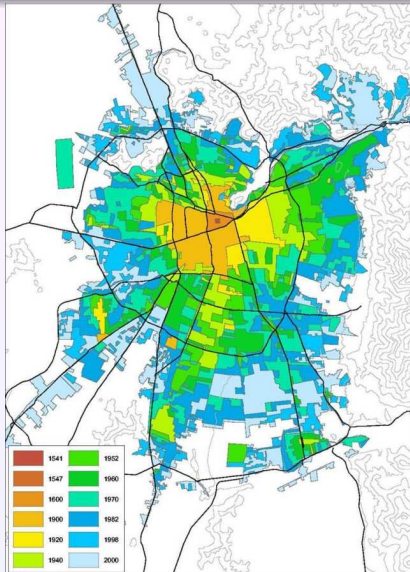
# Asignación por Zonas



- Sistema similar a zonas de servicio.
- Ventajas:
  - Simple implementación.
  - Ofrece back-up en papel.
- Desventajas:
  - No conoce de tráfico.
  - Sentido de calles.
  - Conectividad en general.
- ¿Cómo las definimos?
- ¿Cómo medimos calidad segmentación?

El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

# Distribución Histórica

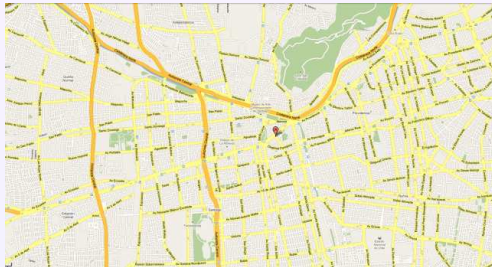


- Crecimiento histórico de Santiago.
- Concentración en casco antiguo.
- Amplia extensión geográfica actual



El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

# Pasando de distancias a tiempos de viaje



- ¿Qué manda?
  - Tiempos de viajes.
  - Desagregables por segmento de calle.
  - Considera velocidades por horarios.
  - Posible considerar variabilidad como parámetro.
- Considera red vial.
- Re-calculable a cada evento.

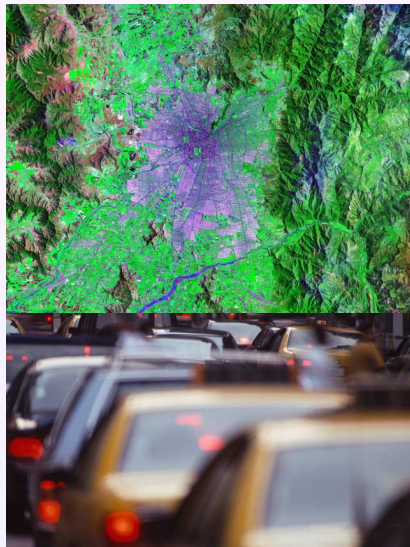
El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

# Pasando de distancias a tiempos de viaje



El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

# Pasando de distancias a tiempos de viaje



El caso del cuerpo de Bomberos de Santiago:

# ¿Es posible?



## Transantiago

Buses de Transantiago registran posiciones cada minuto. Por los últimos dos años. En todos los recorridos.



# Jet personales por asiento, sin itinerarios

## Historia y situación 2006

- Atrasos por nuevas inspecciones de seguridad.
- Itinerarios fijos de las aerolíneas.
- Esquema de redes centralizadas “Hub-and-spoke”.
- Nueva tecnología para motores jet de alta eficiencia.
- Nuevos aviones pequeños y baratos con esta tecnología, para 3-5 pasajeros.
- Capacidad disponible en los aeropuertos regionales.

Day-Jet

# The Eclipse 500



# El Eclipse 500

- Tripulación: 2 pilotos
- Velocidad de Crucero: 694Km/hr
- Rango: 2370Km
- Altura Máxima: 12496m
- Capacidad: 3 pasajeros



# DayJet... It's about time



## "Per-Seat, On-Demand" Jet Services How to Keep Air Transportation Moving at the Speed of Business





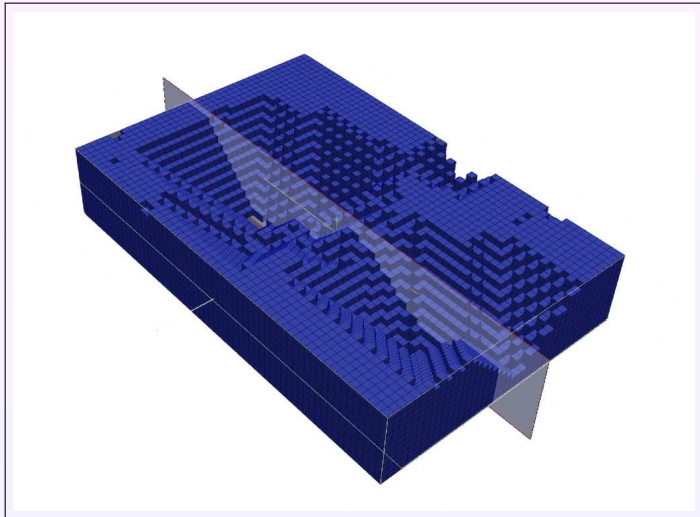
# Modelo de Negocios

- Factores externos:
  - Demanda en-línea.
  - Sin itinerarios pre-establecidos.
  - Precios competitivo con económica de último minuto.
  - Alta calidad de servicio.
  - Amplia cobertura/
- Factores internos:
  - Creación de rutas dinámicas.
  - Logística, ventas y operaciones completamente integradas.
  - Agregación de pasajeros.

# Problemas de optimización relacionados:

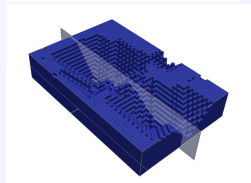
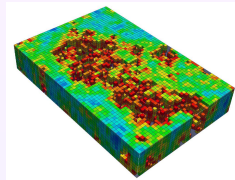
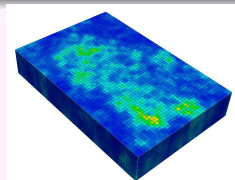
- Problema de aceptar/rechazar pasajeros en-línea (15 segundos).
- Re-ruteo óptimo de clientes aceptados.
- Definir bases de operaciones de los aviones.
- Buscar estrategias de precios variables.
- Recuperación de disrupciones automática.
- Integrar mantenimiento.
- Estimación de demanda.

# El Problema



# El Problema

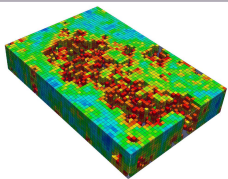
- Datos:
  - Múltiples concentraciones de minerales.
  - Costos de transporte.
  - Tecnologías de procesamiento alternativas.
- Decidir:
  - Que extraer.
  - Como procesar.
  - Y cuando.
- Tal que:
  - Maximice NPV.
  - Ajustarse a los contratos de largo plazo
  - etc.



# Supuestos Comunes

## Datos Determinísticos

- Problemas de Implementación.
- Geología es incierta.
- Problemas de dilución.
- Precios variables de largo plazo.

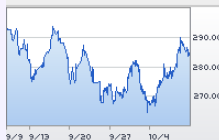


c1 COMEX HIGH GRADE

US@HG.1

285.45 ▼ -4.40 [-1.52%]

FUTURES



## Nos concentraremos en:

- Sin capacidades.
- Incertidumbre en los retornos.
- Uso de distribuciones empíricas.
- Explorar prioridades en conflicto.

# Aplicaciones Modernas

- ¿Cómo dar alimentos en los colegios?
- ¿Como dar energía a Chile?
- Planificación Forestal
- Ruteando barcos y contenedores.

# La Frontera

- El (buen) uso de estas herramientas esta en las personas.
- Desde un punto de vista practico, muchas de estas herramientas no han llegado a donde mas se necesitan:
  - Hospitales
  - Ayuda internacional
  - Ambulancias
- Aun quedan muchos desafíos por resolver!
  - ¿Como lidiamos con incertidumbre?
  - ¿Como resolvemos problemas mas grandes?
  - ¿Es posible hacerlo?
  - ¿Entendemos bien la diferencia entre buenas soluciones y la mejor solución? es importante?

Comentarios Finales

# Gracias por su Paciencia... Preguntas?