

# Inteligencia Computacional

**Recocido simulado:  
recomendaciones**

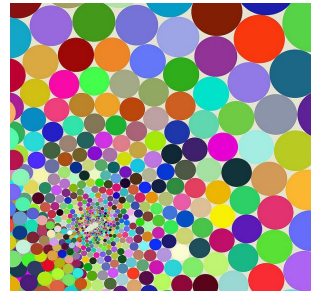
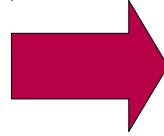
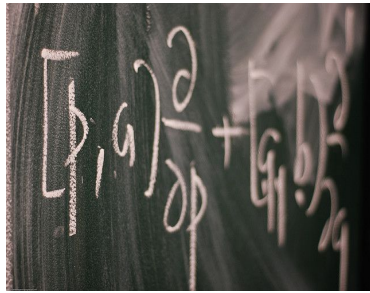


<http://blancavg.com/tc3023/>

Blanca A. Vargas Govea \* [vargasgovea@itesm.mx](mailto:vargasgovea@itesm.mx) \* Agosto 31, 2012

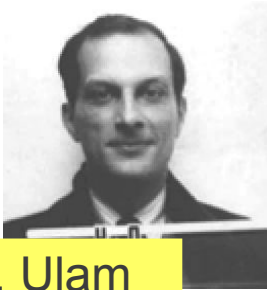
Fecha examen- Martes  
11 Sep

N. Metrópolis

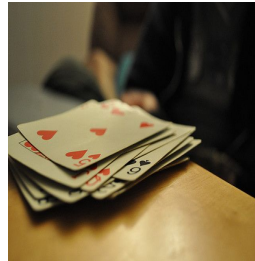


De la teoría a los experimentos

El autor → aspectos humanos

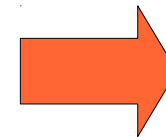
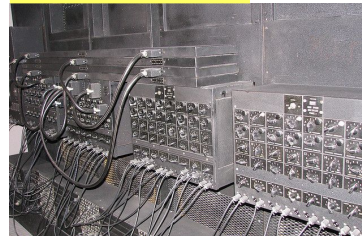


S. Ulam

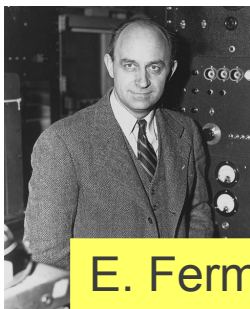


Paralelismo

ENIAC



Y en Londres



E. Fermi

# El inicio del método Monte Carlo

Colossus



Criptografía



D. Michie



A. Turing



El elemento común



MENACE: aprendizaje por refuerzo

# Inicios del aprendizaje automático

# Continuando con Recocido



Configuraciones del sistema

Generador de cambios aleatorios

Protocolo de decremento de temperatura

Minimización = meta del algoritmo

Función objetivo - “energía”

Parámetro de control - “temperatura”

Elementos a identificar

```
 $k := 0, i := i_{inic}$   
repite  
  for  $l := 1$  to  $L_k$  do  
    genera  $j \in S_j$   
    si  $f(j) \leq f(i)$  entonces  $i := j$   
    sino, si  $\exp\left(\frac{f(i)-f(j)}{c_k}\right) > \text{random}[0,1)$   
      entonces  $i := j$   
 $k := k + 1$   
actualiza  $L_k$  y  $c_k$   
hasta criterio de terminación
```

donde

$c_k$  es el parámetro de control asociado a la temperatura y

$L_k$  es el número de transiciones generadas en el ciclo  $k$  del algoritmo de Metrópolis

Algoritmo de recocido simulado

## 1. Representación del problema

- Representar el espacio de solución
- Expresar la función que represente adecuadamente el costo de las soluciones

## 2. Mecanismo de transición

- Generar una nueva solución
- Calcular la diferencia de costo
- Aplicar el criterio de aceptación

## 3. Mecanismo de enfriamiento

- Valor inicial de parámetro análogo a la temperatura
- Función de decremento
- Criterio de paro
- Número de transiciones (longitud de la cadena)

Identificar 3 componentes



## 1. Temperatura inicial $c_k$

- Empezar con un entero positivo pequeño e irlo multiplicando por un factor  $> 1$  hasta que las transiciones sean casi todas aceptadas
- Enfriar rápidamente hasta que  $\approx 60\%$  de las “malas” soluciones sean aceptadas, después enfriar lento

## 2. Temperatura final

- Terminar cuando la solución obtenida permanece igual en un número determinado de transiciones
- En la práctica, no es necesario dejar que la temperatura alcance el cero

### 3. Decremento de la temperatura (fase crítica)

- Deben permitirse suficientes iteraciones de tal modo que el sistema se estabilice (puede ser exponencial)
- Muchas iteraciones - pocas temperaturas
- Pocas iteraciones - muchas temperaturas
- Balance
- De forma lineal:  $T = T + \alpha$
- De forma geométrica:  $T = T \cdot \alpha$   $0 < \alpha < 1$
- Generalmente se aplica un decremento exponencial:  
 $c_{k+1} = \alpha \cdot c_k$ , donde  $\alpha$  es una constante cercana a 1
- Valores de  $\alpha$  entre 0.8 y 0.99 son satisfactorios

#### 4. No. de iteraciones en cada temperatura

- No. constante de iteraciones para cada temperatura
- Un cambio dinámico conforme el algoritmo avanza:
  - Menos iteraciones con temperatura alta
  - Muchas iteraciones con temperatura baja
- Una iteración en cada temperatura pero decrementar  $T$  lentamente

- Técnica general aplicable a una gran cantidad de problemas
- A diferencia de otros métodos de búsqueda local, tiene la habilidad de aproximarse al óptimo global
- Relativamente simple de implementar y adaptar el código a diversos problemas

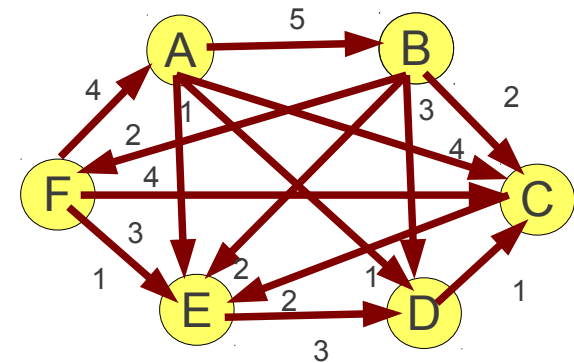
- Compromiso entre la calidad de las soluciones y el tiempo requerido para procesarlas
- El protocolo de recocido no es fácil de diseñar

# Ejemplos



## Agente viajero. Traveling Salesman Problem (TSP).

Dado un conjunto de  $n$  ciudades y el costo del viaje entre cada par, el problema es encontrar la forma menos costosa de visitarlas todas, sin repetición y regresar al punto de partida.





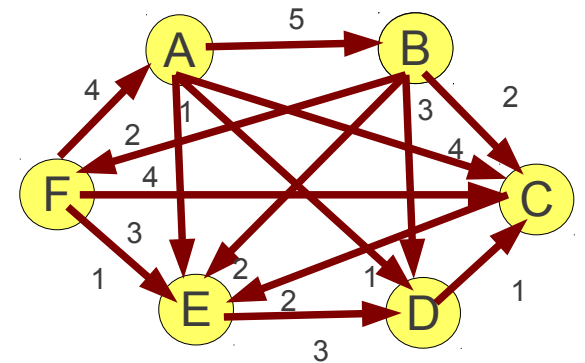
## Espacio de solución

- Las ciudades son numeradas  $i=1..N$ .
- Cada una tiene coordenadas  $(x_i, y_i)$ .
- Una configuración es una permutación de  $1..N$ , de acuerdo al orden de las ciudades visitadas.

## Función de costo

- Forma más simple: longitud del viaje

$$E = \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$$

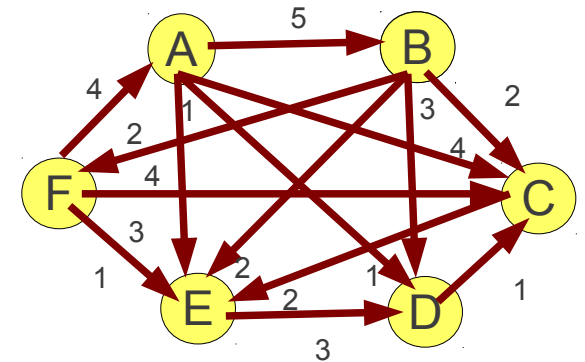


Agente viajero: representación

## Función de costo

- Se pueden agregar elementos
- Supongamos que el agente tiene pánico de volar sobre el río Mississippi
- Se agrega un parámetro  $\mu_i$  a cada ciudad, donde  $\mu_i = +1$  si está al este del Mississippi y  $\mu_i = -1$  si está al oeste

$$E = \sum_{i=1}^N [\sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} + \lambda (\mu_i - \mu_{i+1})^2]$$

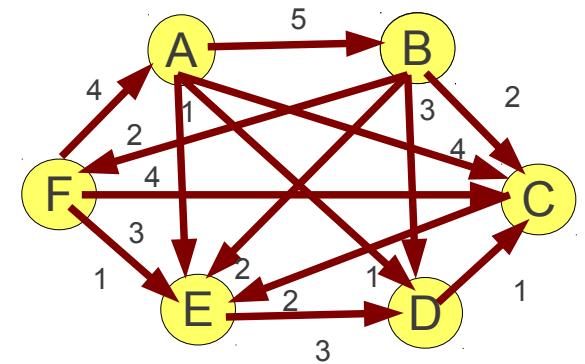


El algoritmo encuentra el camino más corto sin cruzar el río

Agente viajero: flexibilidad

## Generación de una nueva solución

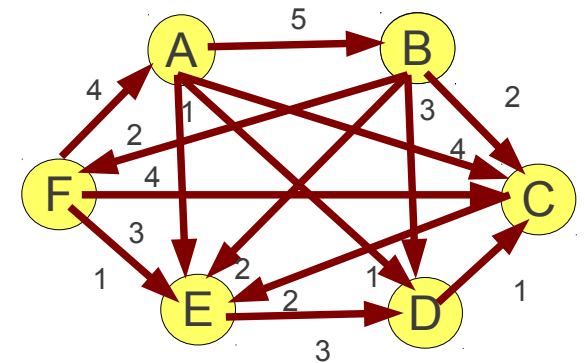
- Movimientos eficientes sugeridos por Lin
- Una sección del camino se elimina y se reemplaza con las mismas ciudades pero en orden inverso
- Una sección del camino se elimina y se coloca entre dos ciudades seleccionadas aleatoriamente



Agente viajero: transición

## Protocolo de recocido

1. Requiere experimentación
2. Primero se generan algunas soluciones aleatorias para determinar el rango de  $\Delta E$  que puede encontrarse de movimiento en movimiento
3. Escoger un valor inicial de  $T$  mayor que  $\Delta E$
4. Se decrementa  $T$  en un 10%
5. Por cada temperatura, realizar 100N reconfiguraciones o 10N reconfiguraciones exitosas, lo que ocurra primero
6. Parar cuando ya no haya cambios significativos



Depende del problema

Agente viajero: enfriamiento

## Viaje en grupo

Los miembros de una familia viven en distintos lugares y desean reunirse en NY. Todos llegarán y partirán el mismo día. Quieren compartir transporte a y desde el aeropuerto.



```
1 Seymour - BOS
2 Franny - DAL
3 Zooey - CAK
4 Walt - MIA
5 Buddy - ORD
6 Les - OMA
```

origen,destino, hora-salida,hora-llegada,costo,

```
LGA,MIA,20:27,23:42,169
MIA,LGA,19:53,22:21,173
LGA,BOS,6:39,8:09,86
BOS,LGA,6:17,8:26,89
LGA,BOS,8:23,10:28,149
```

Hay muchos vuelos por día hacia NY desde el lugar de origen de los miembros de la familia. Los vuelos varían en precio y duración.

# El viaje en grupo

# Formular el problema



## Lista

[1,4,3,2,7,3,5,3,2,4,5,3]

[0] y [6] Seymour toma el 1er vuelo desde Boston a NY y el 5o de regreso a Boston

[1] y [7] Franny toma el 4o vuelo desde Dallas y el 3o de regreso



[1,4,3,2,7,3,5,3,2,4,5,3]

Seymour Boston 12:34-15:02 \$109 12:08-14:05 \$142

Franny Dallas 12:19-15:25 \$342 9:49-13:51 \$229

Zooey Akron 9:15-12:14 \$247 15:50-18:45 \$243

Walt Miami 15:34-18:11 \$326 14:08-16:09 \$232

Buddy Chicago 14:22-16:32 \$126 15:04-17:23 \$189

Les Omaha 15:03-16:42 \$135 6:19- 8:13 \$239

El horario tiene algunos problemas puesto que todos deberán estar a las 6 de la mañana porque Les sale a esa hora mientras que otros salen hasta casi las 16 horas.

Objetivo: minimizar costo

# El viaje en grupo: representación



# Recocido

El viaje en grupo: algoritmo



# Tarea - Sept 7



- Implementar el algoritmo de recocido simulado para resolver el problema del agente viajero para  $n$  ciudades.
- Experimentar con distintas temperaturas y diferente número de transiciones por temperatura.
- Reportar la formulación del problema y los resultados con los distintos parámetros (temperatura, no. de transiciones).

# Referencias

Grosan C., y Abraham A. (2011) Intelligent Systems: A Modern Approach. Intelligent Systems Reference Library, Volume 17. Springer.

Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing". Science 220 (4598): 671-680.

Segaran, T. (2007) Programming Collective Intelligence: Building Smart Web 2.0 Applications, O'Reilly, 2007

## Imágenes

Guerra: <http://www.flickr.com/photos/60868061@N04/7118575699/>

ENIAC: <http://www.flickr.com/photos/8136496@N05/2196367188/>

N. Metrópolis: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nicholas\\_Metropolis\\_cropped.PNG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nicholas_Metropolis_cropped.PNG)

E. Fermi: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Enrico\\_Fermi\\_1943-49.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Enrico_Fermi_1943-49.jpg)

S. Ulam: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stanislaw\\_Ulam\\_ID\\_badge.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stanislaw_Ulam_ID_badge.png)

Pizarrón: <http://www.flickr.com/photos/37977505@N00/2421129047/>

Espiral: <http://www.flickr.com/photos/21649179@N00/2201910064/>