

# Búsqueda Local

---

Javier Béjar

Inteligencia Artificial - 2023/2024 1Q

CS - GEI

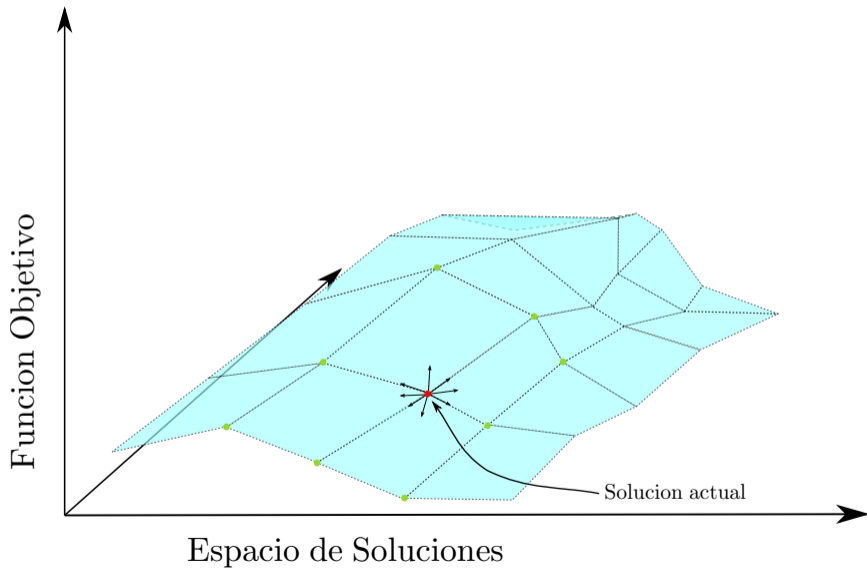


# Introducción

---

- ⊙ A veces el camino para llegar a la solución no nos importa, buscamos en el espacio de soluciones
- ⊙ Queremos la mejor de entre las soluciones posibles alcanzable en un tiempo razonable (el óptimo es imposible)
- ⊙ Tenemos una función que nos evalúa la calidad de la solución, pero que no esta ligada a ningún coste necesariamente
- ⊙ La búsqueda se realiza desde una solución inicial que intentamos mejorar modificándola (operadores)
- ⊙ Los operadores nos mueven entre soluciones vecinas

- ⊙ La función heurística:
  - Aproxima la calidad de una solución (no representa un coste)
  - Hemos de optimizarla (maximizarla o minimizarla)
  - Combinará los elementos del problema y sus restricciones (posiblemente con diferentes pesos)
  - No hay ninguna restricción sobre como ha de ser la función, solo ha de representar las relaciones de calidad entre las soluciones
  - Puede tomar valores positivos o negativos



- ⊙ El tamaño del espacio de soluciones por lo general no permite obtener el óptimo
- ⊙ Los algoritmos no pueden hacer una exploración sistemática
- ⊙ La función heurística se usará para podar el espacio de búsqueda (soluciones que no merece la pena explorar)
- ⊙ No se suele guardar historia del camino recorrido (el gasto de memoria es mínimo)
- ⊙ La falta total de memoria puede suponer un problema (bucles)

# Hill Climbing

---

- ⊙ Escalada simple
  - Se busca cualquier operación que suponga una mejora respecto al padre
- ⊙ Escalada por máxima pendiente (steepest-ascent hill climbing, gradient search)
  - Se selecciona el mejor movimiento (no el primero de ellos) que suponga mejora respecto al estado actual



---

**Algoritmo:** Hill Climbing

Actual  $\leftarrow$  Estado\_inicial

fin  $\leftarrow$  falso

**mientras** no *fin* **hacer**

    Hijos  $\leftarrow$  generar\_sucesores(Actual)

    Hijos  $\leftarrow$  ordenar\_y\_eliminar\_peores(Hijos, Actual)

**si** no *vacio?*(Hijos) **entonces**

        Actual  $\leftarrow$  Escoger\_mejor(Hijos)

**sino**

        fin  $\leftarrow$  cierto

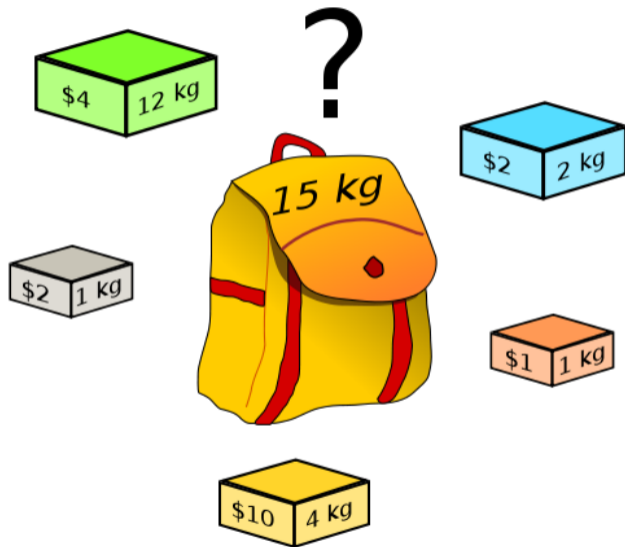
---

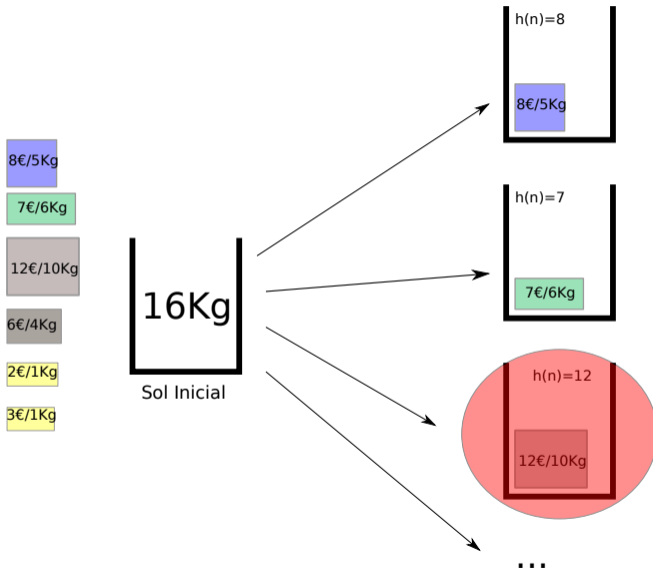
- ⊙ Sólo se consideran los descendientes cuya función de estimación es mejor que la del padre (poda del espacio de búsqueda)
- ⊙ Se puede usar una pila y guardar los hijos mejores que el padre para hacer backtracking, pero por lo general es prohibitivo
- ⊙ Es posible que el algoritmo no encuentre una solución aunque la haya

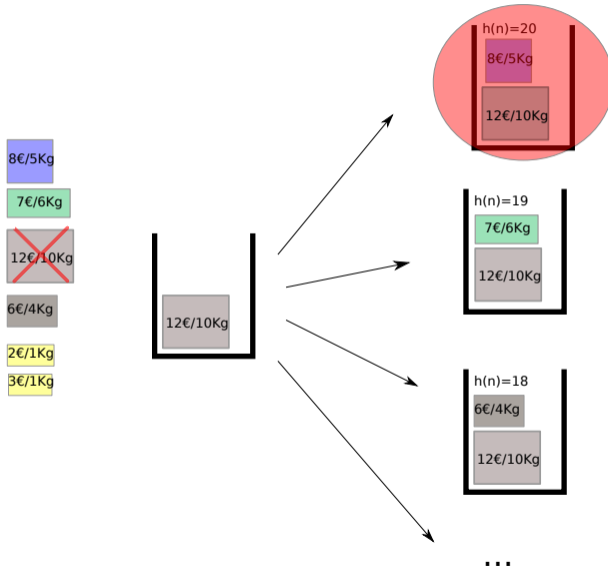
- ⊙ Las características de la función heurística y la solución inicial determinan el éxito y rapidez de la búsqueda
- ⊙ La estrategia del algoritmo hace que la búsqueda pueda acabar en un punto donde la solución sólo sea la óptima aparentemente
- ⊙ Problemas
  - Máximo local: Ningún vecino tiene mejor coste
  - Meseta: Todos los vecinos son iguales
  - Cresta: La pendiente de la función sube y baja (efecto escalón)

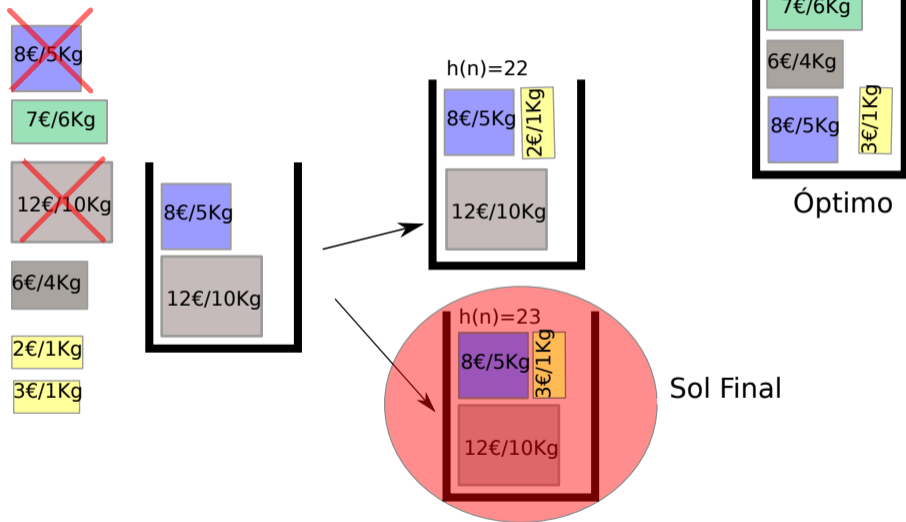
## ⊙ Posibles soluciones

- Reiniciar la búsqueda en otro punto buscando mejorar la solución actual (*Random Restarting Hill Climbing*)
- Hacer backtracking a un nodo anterior y seguir el proceso en otra dirección (solo posible limitando la memoria para hacer el backtracking, *Beam Search*)
- Aplicar dos o más operaciones antes de decidir el camino
- Hacer HC en paralelo (p.ej. Dividir el espacio de búsqueda en regiones y explorar las más prometedoras, posiblemente compartiendo información)









# Otros Algoritmos

---

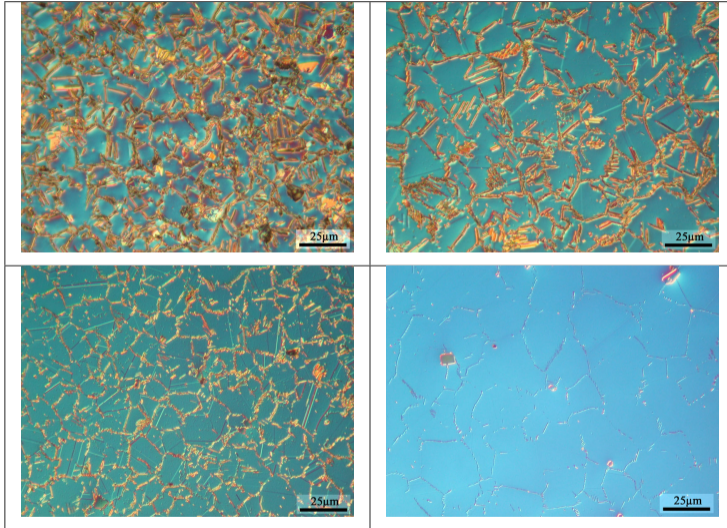


- ⊙ Se han planteado otros algoritmos inspirados en analogías físicas y biológicas:
  - **Simulated annealing:** Hill-climbing estocástico inspirado en el proceso de enfriamiento de metales
  - **Algoritmos genéticos:** Hill-climbing paralelo inspirado en los mecanismos de selección natural
  - Ambos mecanismos se aplican a problemas reales con bastante éxito
- ⊙ Pero también Particle Swarm Optimization, Ant Colony Optimization, Intelligent Water Drop, Gravitational search algorithm, ...

# Simulated Annealing

---

- ⊙ Es un algoritmo de Hill-Climbing estocástico (elegimos un sucesor de entre todos los posibles según una distribución de probabilidad, el sucesor podría ser peor)
- ⊙ Hacemos paseos aleatorios por el espacio de soluciones
- ⊙ Inspirado en el proceso físico de enfriamiento controlado (cristalización, templado de metales)
- ⊙ Se calienta un metal/disolución a alta temperatura y se enfría progresivamente de manera controlada
- ⊙ Si el enfriamiento es adecuado se obtiene la estructura de menor energía (mínimo global)



- ⊙ Debemos identificar los elementos del problema con los del problema físico
- ⊙ **Temperatura**, parámetro de control
- ⊙ **Energía**, calidad de la solución  $f(n)$
- ⊙ **Función de aceptación**, permite decidir si escoger un nodo sucesor
  - $\mathcal{F}(\Delta f, T)$ , función de la temperatura y la diferencia de calidad entre la solución actual y la solución candidata
  - A menor temperatura menor probabilidad de elegir sucesores peores
- ⊙ **Estrategia de enfriamiento**, número de iteraciones a realizar, como bajar la temperatura y cuantos sucesores explorar para cada paso de temperatura

---

**Algoritmo:** Simulated Annealing

Partimos de una temperatura inicial

**mientras** *la temperatura no sea cero* **hacer**

    // Paseo aleatorio por el espacio de soluciones

**para** *un numero prefijado de iteraciones* **hacer**

        Enuevo  $\leftarrow$  Genera\_sucesor\_al\_azar(Eactual)

$\Delta E \leftarrow f(Eactual) - f(Enuevo)$

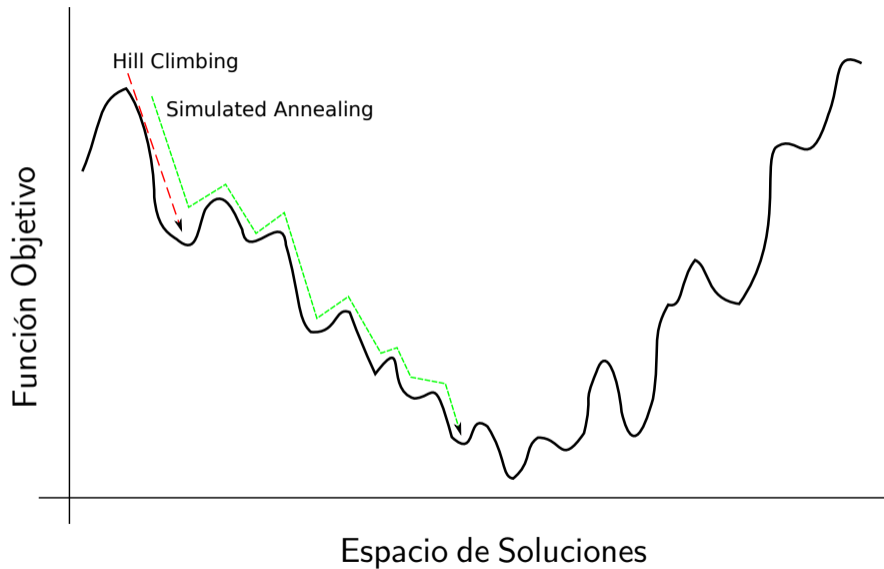
**si**  $\Delta E > 0$  **entonces**

            Eactual  $\leftarrow$  Enuevo

**sino**

            con probabilidad  $e^{\Delta E/T}$ : Eactual  $\leftarrow$  Enuevo

    Disminuimos la temperatura



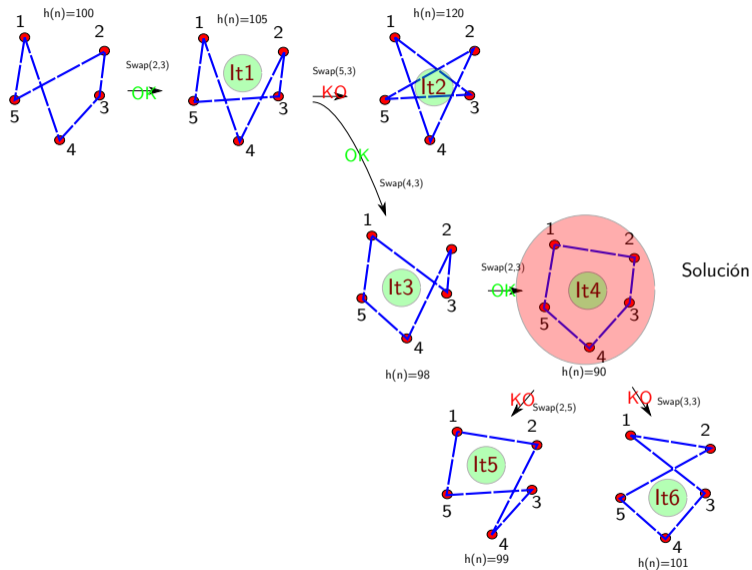
- ⊙ Adaptable a problemas de optimización combinatoria (configuración óptima de elementos) y continua (punto óptimo en un espacio N-dimensional)
- ⊙ Indicado para problemas grandes en los que el óptimo está rodeado de muchos óptimos locales
- ⊙ Indicado para problemas en los que encontrar una heurística discriminante es difícil (una elección aleatoria es tan buena como otra cualquiera)
- ⊙ Aplicaciones: TSP, Diseño de circuitos VLSI
- ⊙ Problemas: Determinar los valores de los parámetros requiere experimentación



- ⊙ Viajante de comercio (TSP): Espacio de búsqueda  $N!$
- ⊙ Definimos posibles transformaciones de una solución (operadores): Inversiones, traslaciones, intercambios
- ⊙ Definimos la función de energía (Suma de distancia entre ciudades, según el orden de la solución)

$$E = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} + \sqrt{(x_N - x_1)^2 + (y_N - y_1)^2}$$

- ⊙ Definimos una temperatura inicial (experimentación)
- ⊙ Determinamos cuantas iteraciones hacemos para cada temperatura y como disminuimos la temperatura



# Algoritmos Genéticos

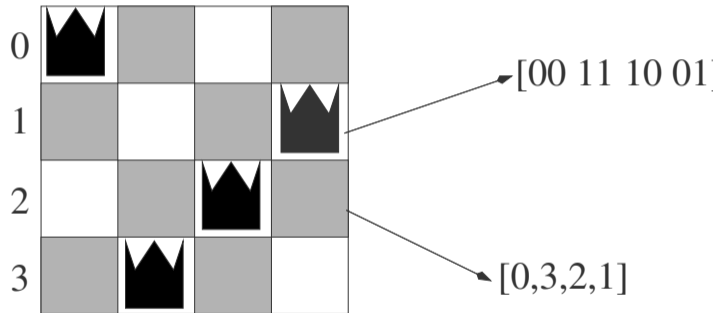
---

- ⊙ Inspirado en el mecanismo de selección natural
  - Los seres vivos se adaptan al entorno gracias a las características heredadas de sus progenitores
  - Las posibilidades de supervivencia y reproducción son proporcionales a la bondad de esas características
  - La combinación de buenos individuos puede dar lugar a individuos mejor adaptados
- ⊙ Podemos trasladar la analogía a la búsqueda local
  - Las soluciones corresponden a individuos
  - La función de calidad indica la bondad de la solución
  - Combinando buenas soluciones podemos obtener soluciones mejores

Resolver un problema mediante AAGG requiere:

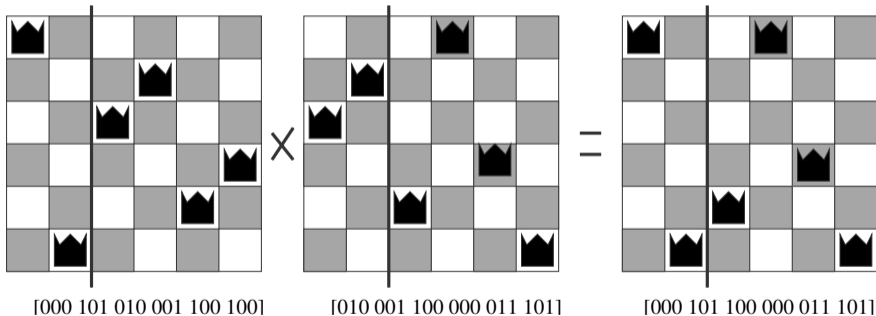
- ⊙ Dar una codificación a las características de las soluciones (p ej: una cadena binaria)
- ⊙ Tener una función que mida la calidad de la solución (función de fitness)
- ⊙ Disponer de operadores que combinen las soluciones para obtener nuevas soluciones (operadores de crossover)
- ⊙ Decidir el número de individuos inicial
- ⊙ Decidir una estrategia para hacer la combinación de individuos

- ⊙ Habitualmente la codificación de individuos es una cadena binaria (no tiene por que ser la mas adecuada)



- ⊙ La codificación define el tamaño del espacio de búsqueda y el tipo de operadores de combinación necesarios

- ⊙ La combinación de individuos se realiza mediante operadores de cruce
- ⊙ El operador básico es el cruce por un punto
  - Se elige aleatoriamente un punto de la codificación
  - La información de dos individuos se combina usando ese punto como referencia



⊙ Existen otras posibilidades:

- Cruce en dos puntos
- Intercambio aleatorio de bits
- Operadores adhoc según la representación

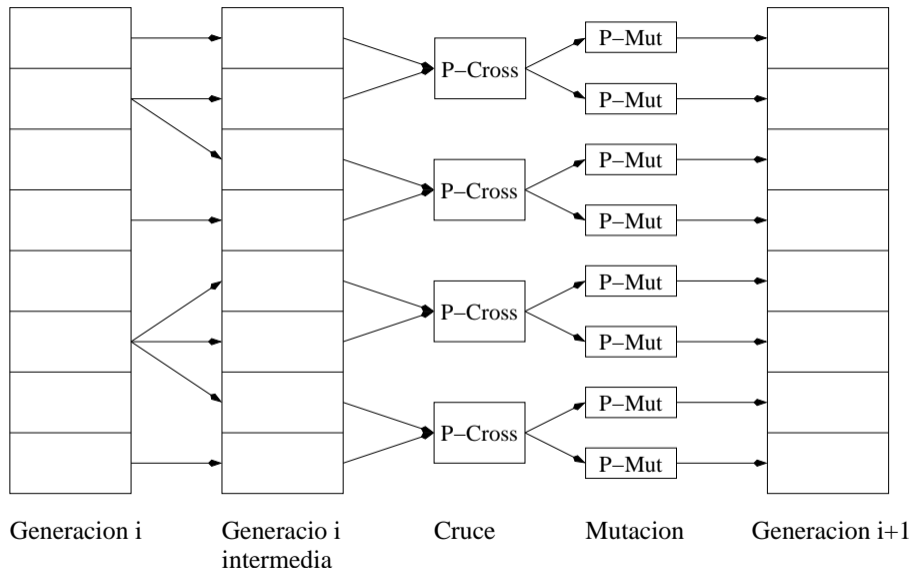
⊙ Operadores de mutación:

- Por analogía con la combinación de genes, a veces la información de parte de ellos cambia aleatoriamente
- El operador básico de mutación consiste en cambiar el signo de un bit con cierta probabilidad



- ⊙ Cada paso de búsqueda es una generación de individuos, su tamaño se mantiene constante ( $N$ )
- ⊙ Para pasar a la siguiente generación debemos elegir que individuos se han de combinar (generación intermedia)
- ⊙ Elección de los individuos:
  - Cada individuo se elige con probabilidad proporcional a su calidad
  - Se establecen  $N$  torneos aleatorios entre parejas de individuos, se eligen los que ganan en cada torneo
  - Se define un ranking lineal entre individuos según su función de calidad
- ⊙ Siempre habrá individuos que aparezcan mas de una vez e individuos que no aparezcan

- ⊙ Los pasos que realiza el AG básico son estos:
  1. Se escogen  $N$  individuos de la generación actual para la generación intermedia (según el criterio escogido)
  2. Se emparejan los individuos y para cada pareja
    - Con una probabilidad ( $P_{\text{cruce}}$ ) se aplica el operador de cruce a los individuos y se obtienen dos nuevos individuos
    - Con una probabilidad ( $P_{\text{mutación}}$ ) se mutan los nuevos individuos
  3. Estos individuos forman la nueva generación
  4. Iterar hasta que la población converja o pase un número específico de iteraciones
- ⊙ La probabilidad de cruce influirá en la variedad de la nueva generación
- ⊙ La probabilidad de mutación siempre es muy pequeña para evitar una búsqueda aleatoria



- ⊙ Aplicable casi a cualquier tipo de problema
- ⊙ Permite abordar problemas para los que no se dispone de una función heurística adecuada
- ⊙ Por lo general serán peores que un algoritmo clásico con una buena heurística
- ⊙ Aplicaciones: Incontables
- ⊙ Problemas: Codificación de los estados, determinar los parámetros del algoritmo (tamaño de la población, iteraciones, probabilidad de cruce y mutación)
- ⊙ En algunos tipos de problemas pueden no funcionar muy bien

- ⊙ **Problema de las N reinas**
- ⊙ Codificamos cada una de las posibles soluciones con un string binario
- ⊙ Individuo= Concat( $i=1\dots N$ ; Binario(columna(reina<sub>*i*</sub>)))
- ⊙ Función de fitness= numero de parejas de reinas que se matan entre si
- ⊙ Operador de cruce= Cruce en un punto
- ⊙ Selección de la generación intermedia: Proporcional a la función de fitness
- ⊙ Probabilidad de cruce → ¡experimental!
- ⊙ Probabilidad de mutación: → ¡experimental!
- ⊙ Tamaño población inicial: ¿aleatoria? (espacio de búsqueda  $n^n$ )

