

# Algoritmos Genéticos

- ❖ Algoritmos evolutivos:
  - Métodos de optimización y búsqueda de soluciones
  - Basados en los postulados de la evolución biológica.
  - Mantienen un conjunto de entidades que representan posibles soluciones, las cuales se mezclan, y compiten entre sí, de tal manera que las más aptas son capaces de prevalecer a lo largo del tiempo evolucionando hacia mejores soluciones cada vez.
- ❖ Los algoritmos genéticos son una **rama** de los **algoritmos evolutivos**
- ❖ Se basan en la **biología**, **genética** y la **teoría de la evolución de Darwin**.

## Individuos y población

- ❖ **individuo** → Posible estado solución del problema.
- ❖ **población** → El conjunto de individuos que coexisten en un determinado
- ❖ El algoritmo comienza con una población de “p” individuos.
- ❖ La población inicial se puede construir de forma aleatoria o pueden ser candidatos obtenidos mediante la ejecución de otros algoritmos.

## Generación

- ❖ Un algoritmo genético se ejecuta una cantidad determinada de veces de forma iterativa → Cada iteración se conoce como una generación
- ❖ Una generación está **conformada** por una **población** que es **descendiente de la población de la generación anterior**.
- ❖ El **tamaño de la población** se puede **mantener entre generaciones o puede modificarse**.

## Cromosomas, genes, alelos y locus

- ❖ Cada individuo internamente contiene cromosomas que expresan su naturaleza interna
  - Corresponde a un vector con el estado de solución.
- ❖ El cromosoma está conformado por genes que pueden tomar diferentes alelos
  - Representa una variable del problema y sus posibles valores almacenados en el vector
- ❖ En ciertos problemas la posición del gen modifica el estado de solución.
  - Se conoce como locus a justamente la posición del gen dentro del cromosoma.

## Esquemas

- ❖ Un conjunto de cromosomas que tienen un patrón común entre ellos se representan como el vector con ciertos valores fijos y otros no determinados
- ❖ Podemos pensarlo como el conjunto de individuos que comparten ciertos genes en común
- ❖ Se espera que individuos “exitosos” puedan tener esquemas internos beneficiosos.
  - Serán más proclives a dejar descendencia en la siguiente generación que compartan estos esquemas

## Función de aptitud

- ❖ La medición del “éxito” de un individuo (y por carácter transitivo un cromosoma en particular) se realiza mediante una función de aptitud (fitness function).
- ❖ En un problema de optimización esta puede ser la función costo, aunque existen propuestas de modificadores para ciertos problemas en esta función.

## **Operadores genéticos**

- ❖ Para la determinación de la próxima generación se aplican operadores genéticos (Genetic Operators) sobre la población.
- ❖ Se han propuesto gran cantidad de operadores, los más habituales corresponden a
  - selección (selection)
  - recombinación (recombination)
  - mutación (mutation)

## **Selección**

- ❖ Determina qué individuos “sobreviven” para generar descendencia en la siguiente generación.
- ❖ Opera sobre la totalidad de los individuos de la población
- ❖ Utiliza la función de aptitud.
- ❖ Puede determinarse un porcentaje del total de la población realizando un corte según mayor valor de aptitud (score fitness).
- ❖ Otras alternativas podrían ser realizar un corte según un determinado valor de aptitud o probabilísticamente utilizando este valor.

## **Recombinación**

- ❖ Proceso de generar la nueva generación en base a los individuos que pasaron la selección.
- ❖ El proceso de recombinación más sencilla corresponde a la “reproducción asexual”
- ❖ Tomar cada individuo y crear uno nuevo con sus mismo cromosomas.
- ❖ Los descendientes mantienen las mismas características que su progenitor.
- ❖ El proceso más utilizado corresponde a la “reproducción sexual”
  - Seleccionar una pareja de individuos y generar descendientes combinando los cromosomas de estos.
- ❖ No es habitual pero el emparejamiento se puede dar también entre 3 o más individuos

## **Reproducción sexual**

- ❖ Se debe determinar cómo armar las parejas.
- ❖ La opción más sencilla corresponde realizar un pareo al azar.
- ❖ Se puede o no privilegiar a aquellos individuos de mayor valor de aptitud.
- ❖ Una vez formadas las parejas se debe realizar el proceso de cruce.
- ❖ Una opción habitual es seleccionar de forma aleatoria una posición “i” del vector del cromosoma.
- ❖ El nuevo individuo se conforma con los primeros “i” genes del primer padre y los restantes obtenidos del segundo padre desde el gen i+1 al final.
- ❖ De forma equivalente se puede armar un segundo descendiente con los genes descartados del primer cruzamiento.
- ❖ Otra opción es por cada gen determinar aleatoriamente de cuál de los padres se seleccionará.

## **Mutación**

- ❖ Corresponde a la modificación de forma aleatoria de los genes de los individuos.
- ❖ Enriquece la variedad cromosómica de la población y ayuda a explorar diferentes estados de la solución.
- ❖ Se establece un valor umbral entre 0 y 1 como la probabilidad de que un gen modifique su valor. Este valor puede ser fijo o ir disminuyendo por cada generación.
- ❖ Por cada gen de cada individuo se determina si se produce una mutación.
- ❖ La mutación del gen puede ser una modificación del alelo o locus.

## Elitismo

- ❖ Seleccionar a los mejores individuos de la generación e incluirlas en la nueva generación
- ❖ Logra que entre generaciones se mantenga el mejor resultado obtenido hasta el momento.
- ❖ De no utilizarse podría guardarse un registro de la mejor solución encontrada entre todas las generaciones

## Resumen del método

- ❖ Generar una población inicial
- ❖ Iterativamente calcular las próximas generaciones aplicando los operadores genéticos
- ❖ Al finalizar se obtiene el individuo más apto, el estado solución del problema que representa será el resultado del algoritmo.

## Algoritmo genético genérico - Pseudocódigo

Sea P la población de individuos

Sea max como la cantidad máxima de generaciones a realizar

Establecer P con una población inicial de "p" individuos

Definir it=0

Repetir

    Por cada individuo i de P calcular su función de aptitud fa(i)

    Crear S el subconjunto P que superan el criterio de selección

    Crear E el emparejamiento resultando de S

    Crear H los descendientes de las parejas E

    Aplicar a cada individuo de H la operación de mutación

    Construir P' la nueva generación con H y una elección por elitismo de S.

    incrementar it en 1

    Establecer P con P'

Hasta que it > max

Retornar estado solución del individuo p de P con mejor función costo

## Ejemplo: Problema de las 8 reinas

Contamos con un tablero de ajedrez de 8 filas por 8 columnas.

Sabemos que la pieza conocida como "reina" ubicada en un celda del tablero ataca a toda pieza que se encuentra en su misma fila, columna o diagonal.

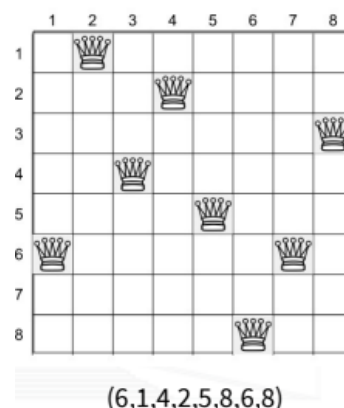
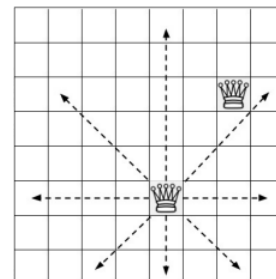
Queremos ubicar 8 reinas en el tablero de forma tal que ninguna de ellas ataque a otra.

Podemos **representar una posible solución** mediante un vector de 8 posiciones.

Cada posición corresponde a una columna (evitamos poner más de una reina por columna para que no se ataquen entre sí)

En cada celda podemos incluir un número entre 1 y 8 que corresponde al número de fila donde incluimos a la reina en esa columna.

Este vector corresponde al cromosoma de un individuo que tiene 8 genes con 8 alelos posibles.



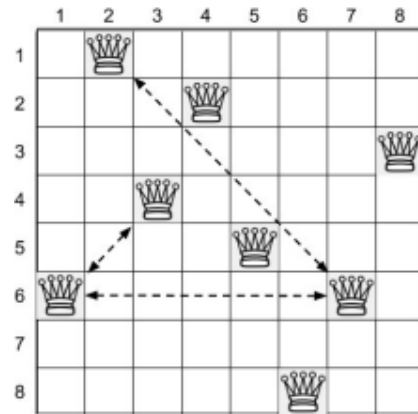
Este clásico problema no es de optimización, pero se puede modificar levemente para poder convertirlo.

Pediremos maximizar la suma de reinas en el tablero para que no se ataquen entre sí.

También lo podríamos expresar como minimizar la cantidad de ataques entre las piezas.

Recordamos que esta pieza ataca a todos los que se ubiquen en su misma fila, columna o diagonales.

Definimos la **función de aptitud** como la suma de reinas en el tablero para que no se ataquen entre sí.



Función de aptitud = 4

### Población inicial e individuos

- Planteamos una población inicial de 100 individuos.
- Por cada individuo tendremos su cromosoma.
- Estableceremos de forma aleatoria a cada individuo por primera vez.
- Esa será la generación cero o inicial.

### Selección y recombinación

- Escogeremos a los 80 individuos con mayor valor de aptitud.
- Crearemos parejas entre ellos de forma aleatoria de forma que cada uno se encuentre con una pareja diferente.
- Para lograrlo realizamos una mezcla aleatoria las parejas serán los individuos contiguos.

### Reproducción

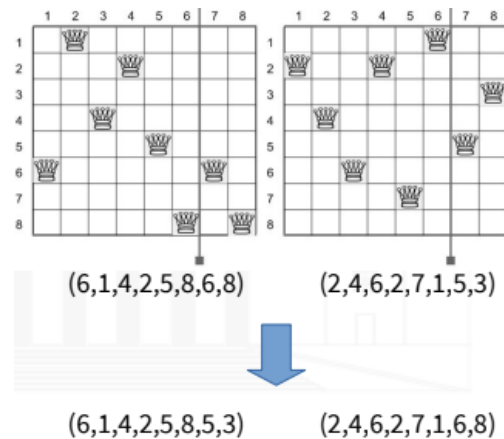
Por cada pareja realizaremos una elección aleatoria entre 1 y 7.

El resultado será el punto de cruce entre la cadena de los pareja donde formaremos dos descendientes.

El primer descendiente se forma con la primera parte del primer progenitor sumada a la segunda parte del segundo progenitor.

El segundo descendiente con las cadenas no utilizadas en el primero.

Se crearán 80 descendientes.



### Mutación

- Utilizará como umbral de cambio un 5% de probabilidad.
- Por cada uno de los hijos generados y por cada uno de sus genes, se realiza una evaluación aleatoria para determinar si se produce una mutación.
- En caso de mutación de un gen, una tirada aleatoria determina que valor entre 1 y 8 tomará.

## Elitismo

- La nueva generación está conformada por 80 descendientes
- Para que se mantenga el número de individuos de la generación se tienen que agregar 20 adicionales
- Se seleccionan a los 20 individuos de mayor función de aptitud de la generación. Se los incluirá en la siguiente.

## Número de generaciones y finalización

- Se realizará un número constante de generaciones
- En la última generación se analiza cuál es el individuo de mayor valor costo (cantidad de reinas que no se atacan).
- En este caso equivale a la función de aptitud.
- Se retorna como resultado del algoritmo el mejor individuo encontrado.

## 8 reinas: Algoritmo genético - Pseudocódigo

Sea P la población de individuos

Sea max como la cantidad máxima de generaciones a realizar

Desde i=1 a 100

Desde j=1 a 8

P[i][j] = valor aleatorio entre 1 y 8

Definir it=0

Repetir

Sea P' la población de la próxima generación

Sea E la población de la generación actual de mayor valor de aptitud

//Selección

Por cada individuo i de P calcular su función de aptitud fa(i)

Ordenar P por su función de aptitud.

Incluir en E los primeros 20 individuos de P.

Eliminar los últimos 20 individuos de P

//Combinación

Mezclar aleatoriamente los individuos de P

Desde m=1 a 40 sumando de a 2

Sea a = P[m]

Sea b = P[m+1]

Sean c, d individuos descendientes

Establecer cruce un valor aleatorio entre 1 y 7

Desde j=1 a cruce

c[j]=a[j]

d[j]=b[j]

Desde i=cruce+1 a 8

c[j]=b[j]

d[i]=a[i]

Agregar en P' a c y d.

//Mutación

Desde m=1 a 80

Desde j=1 a 8

Calcular r un valor aleatorio entre 1 y 100.

Si  $r \leq 5$

establecer P'[i][j] con un valor aleatorio entre 1 y 8

//Elitismo

Agregar E en P'

Establecer P con P'

incrementar it en 1

Hasta que it > max

Obtener de P el resultado con mayor función costo y retornarlo

### Complejidad espacial

- Llamaremos
  - ◆ “p” al tamaño de la población
  - ◆ “n” al tamaño del cromosoma de cada individuo.
- Requerimos  $O(n \cdot p)$  para almacenar toda la población
- Requieren espacio  $O(1)$  o  $O(n \cdot p)$  para el resto de operaciones
- TOTAL:  $O(np)$

### Complejidad temporal

- Por cada generación el cálculo de la función de aptitud se puede realizar en  $O(n^2)$ . El mismo se realiza “p” veces por generación. Es decir que su complejidad se puede estimar en  $O(p \cdot n^2)$ .
- Ordenar la población se puede realizar en  $O(p \log p)$ .
- La combinación y la mutación se puede estimar en  $O(p \cdot n)$
- Podemos considerar la cantidad de generaciones (iteraciones) una constante
- Tendremos una complejidad de  $O(pn^2 + p \log p)$
- La verificación final corresponde a evaluar la última generación para encontrar el individuo más apto en  $O(p \cdot n^2)$ .
- TOTAL:  $O(pn^2 + p \log p)$