



# Algoritmos Genéticos

***“No es la más fuerte de las especies la que sobrevive y tampoco la más inteligente. Sobrevive aquella que mejor se adapta al cambio.”***

***Charles Darwin***



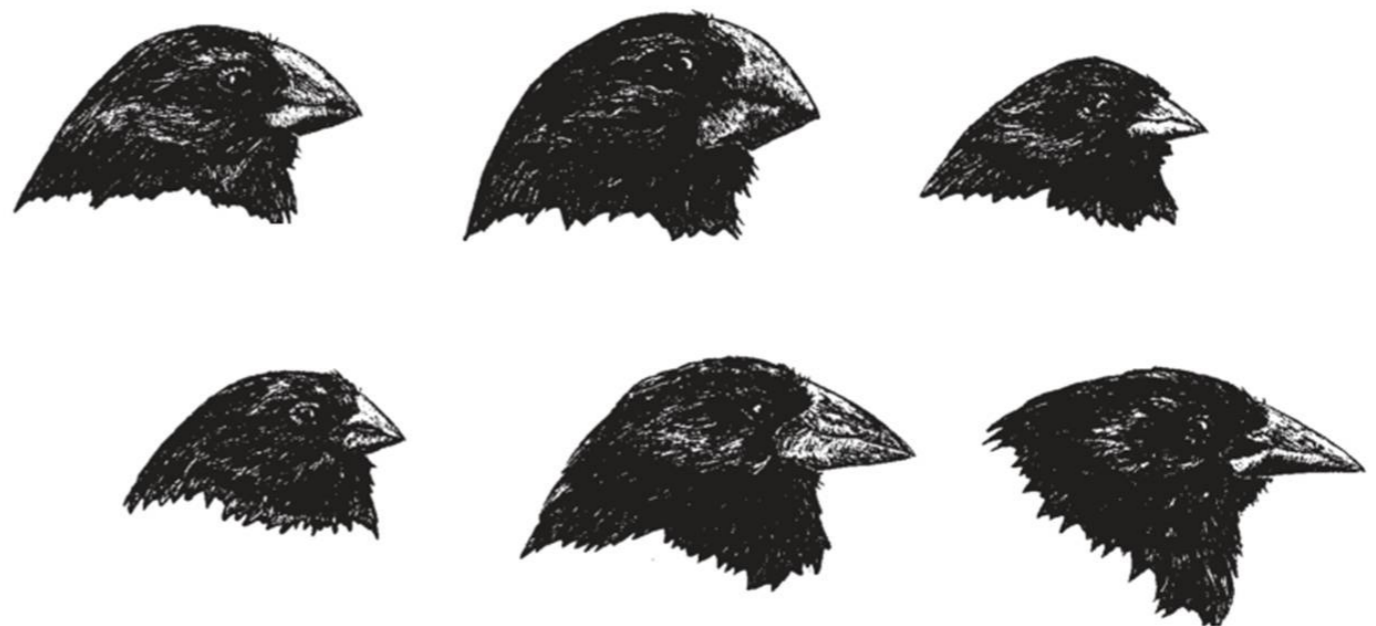
# Introducción

Cuando hablamos de algoritmos genéticos, hay que hablar de **John Holland** que en 1962 asienta las bases para sus posteriores desarrollos hasta llegar a lo que se conoce hoy por **algoritmos genéticos**.



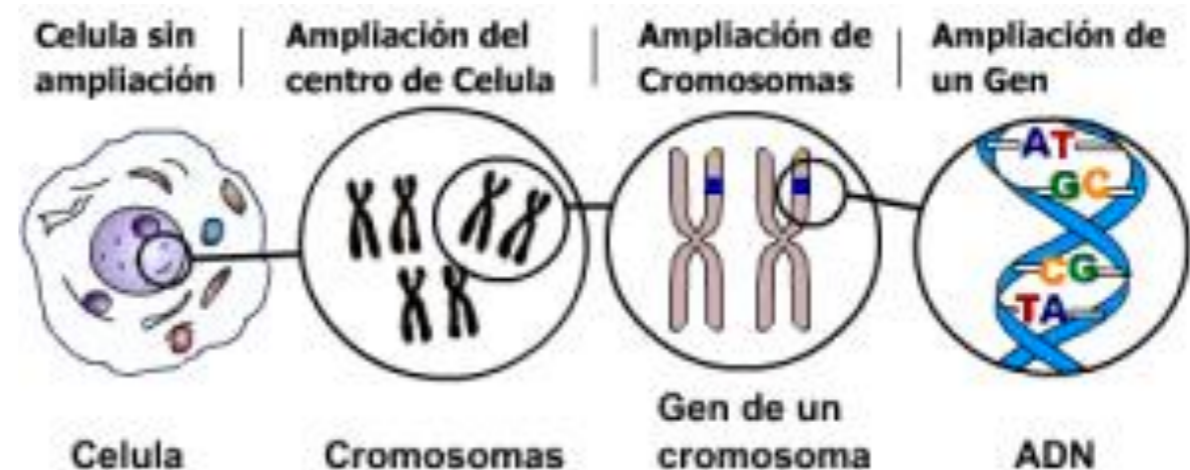
# Introducción

Un **algoritmo genético** es un **método de búsqueda** que **imita la teoría de la selección natural de Darwin** para la resolución de problemas. Para ello, se parte de una población inicial de la cual se seleccionan los individuos más capacitados para luego reproducirlos y mutarlos para finalmente obtener la siguiente generación de individuos que estarán mejor adaptados que la anterior generación.

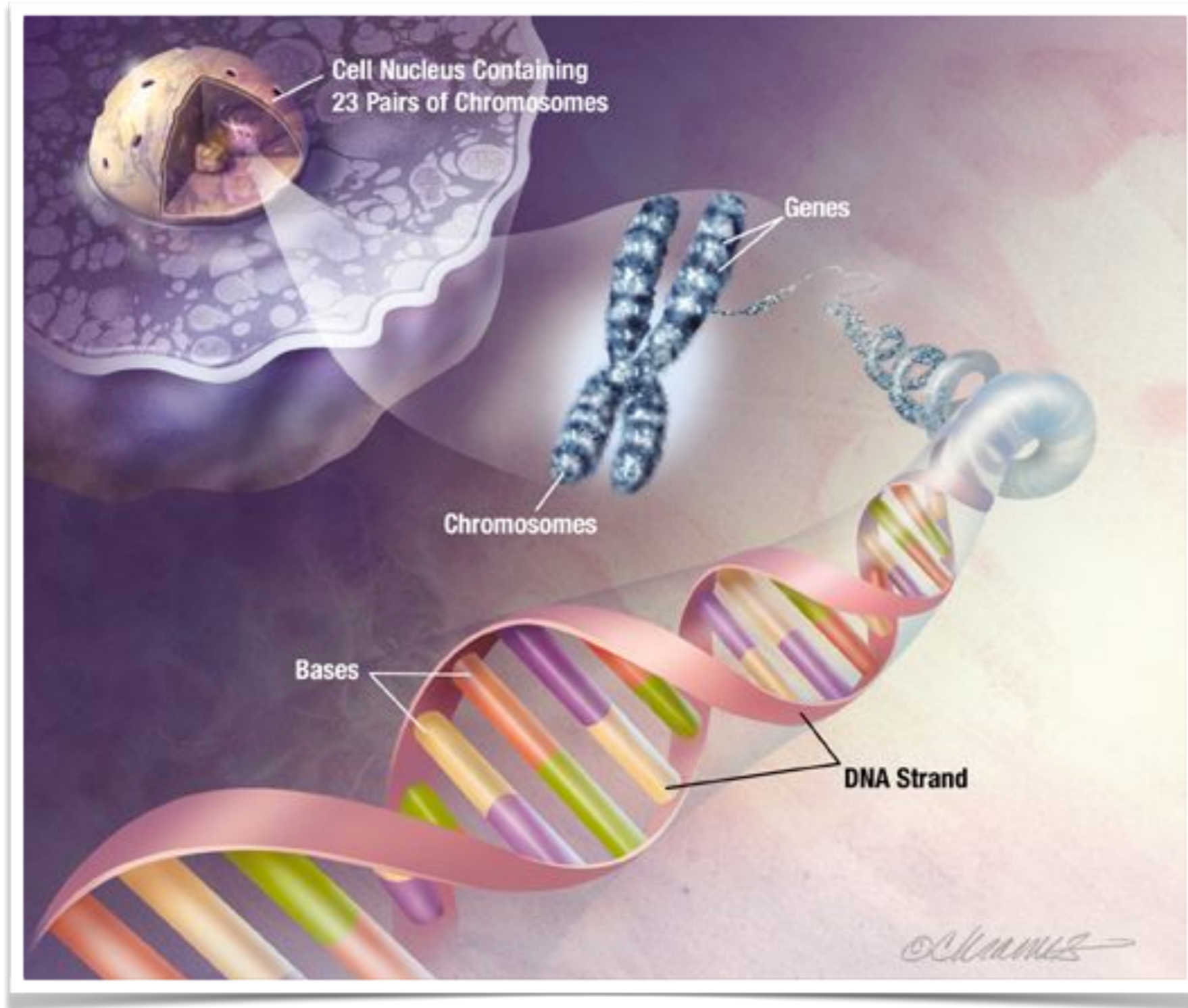


# Background biológico

Todos los organismos vivos se componen de células. En cada célula existe el mismo conjunto de **cromosomas**. Los cromosomas son cadenas de **ADN** que sirven como un modelo para todo el organismo. Un cromosoma está compuesto por **genes**, bloques de ADN. Cada gen codifica una proteína particular. Básicamente se puede decir, que cada gen codifica un **rasgo**, por ejemplo el color de los ojos. Los posibles valores para un rasgo (por ejemplo, azul, marrón) se llaman **alelos**. Cada gen tiene su propia posición en el cromosoma, y esta posición se denomina **locus**.



# Background biológico



# Background biológico

El juego completo de material genético (todos los cromosomas) se denomina **genoma**. El conjunto particular de genes en el genoma se llama **genotipo**. Se denomina **fenotipo** a la expresión del genotipo en función de un determinado ambiente.



**Cromosoma = Solución**



# Esquema básico

En la naturaleza todo el proceso de evolución biológica se hace de forma natural pero para aplicar el algoritmo genético al campo de la resolución de problemas habrá que seguir una serie de pasos. Una premisa es conseguir que el tamaño de la población sea lo suficientemente grande para **garantizar la diversidad de soluciones**. Se aconseja que la **población sea generada de forma aleatoria para obtener dicha diversidad**. En caso de que la población no sea generada de forma aleatoria habrá que tener en cuenta que se garantice una cierta diversidad en la población generada.

# Esquema básico

Los pasos básicos de un algoritmo genético son:

- Evaluar la puntuación o adaptación (fitness) de cada uno de los cromosomas generados.
- Permitir la reproducción de los cromosomas siendo los más aptos los que tengan más probabilidad de reproducirse.
- Con cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo individuo generado.
- Organizar la nueva población.

# Esquema básico

Estos pasos se repetirán hasta que se dé una **condición de terminación**. Se puede fijar un número máximo de iteraciones antes de finalizar el algoritmo genético o detenerlo cuando no se produzcan más cambios en la población (convergencia del algoritmo). Esta última opción suele ser la más habitual.

# Parámetros de los A.G.

## Tamaño de la Población

Este parámetro nos indica el **número de cromosomas** que tenemos en nuestra población para una generación determinada. En caso de que esta medida sea insuficiente, el algoritmo genético tiene pocas posibilidades de realizar reproducciones con lo que se realizaría una búsqueda de soluciones escasa y no óptima. Por otro lado si la población es excesiva, el algoritmo genético será excesivamente lento. De hecho, estudios revelan que hay un límite a partir del cual es ineficiente elevar el tamaño de la población puesto que no se consigue una mayor velocidad en la resolución del problema.

# Parámetros de los A.G.

## Probabilidad de cruce

Indica la frecuencia con la que se producen cruces entre los cromosomas padre es decir, que haya probabilidad de reproducción entre ellos. En caso de que no exista probabilidad de reproducción, los hijos serán copias exactas de los padres. En caso de haberla, los hijos tendrán partes de los cromosomas de los padres. Si la probabilidad de cruce es del 100% el hijo se crea totalmente por cruce, no por partes.

# Parámetros de los A.G.

## Probabilidad de mutación

Nos indica la frecuencia con la que los genes de un cromosoma son mutados. Si no hay mutación, los descendientes son los mismos que había tras la reproducción. En caso de que haya mutaciones, parte del cromosoma descendiente es modificado y si la probabilidad de mutación es del 100%, la totalidad del cromosoma se cambia. En este caso, no se cambian simplemente unos bits del cromosoma sino que se cambian todos, lo que significa que se produce una inversión en el cromosoma y no una mutación por lo que la población degenera muy rápidamente.

# Operaciones de los A.G.

Tras parametrizar el problema en una serie de variables, se codifican en un cromosoma. Todos los operadores utilizados por un algoritmo genético se aplicarán sobre estos cromosomas, o sobre poblaciones de ellos. En el algoritmo genético va implícito el método para resolver el problema. Hay que tener en cuenta que **un algoritmo genético es independiente del problema**, lo cual lo hace un algoritmo robusto, al resultar útil en cualquier ámbito de acción, pero a la vez débil, pues no está especializado en ninguno.

# Operaciones de los A.G.

Las **soluciones codificadas en un cromosoma** compiten para ver cuál constituye la mejor solución (aunque no necesariamente la mejor de todas las soluciones posibles). El ambiente, constituido por las otras soluciones, ejercerá una presión selectiva sobre la población, de forma que sólo los mejor adaptados (aquellos que resuelvan mejor el problema) sobrevivan o leguen su material genético a las siguientes generaciones, igual que en la evolución de las especies. La diversidad genética se introduce mediante mutaciones y reproducción sexual.



# Operaciones de los A.G.

Por lo tanto, un algoritmo genético consiste en hallar de qué parámetros depende el problema, codificarlos en un cromosoma, y aplicar los métodos de la evolución: selección y reproducción con intercambio de información y mutaciones que generen diversidad.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación de las variables

Los cromosomas de alguna manera deberán contener información acerca de la solución que representa. La codificación se puede realizar de varias formas. La más utilizada es mediante una cadena de números binarios (1s o 0s). Pero también se puede realizar la codificación mediante números enteros o incluso cadenas de palabras.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación de las variables

La elección de la codificación dependerá también del problema a resolver pues puede darse la situación en la que la resolución de un caso sea óptimo el uso de una codificación basada en números reales mientras que esa codificación complique la solución en otro caso. Así pues hay que estudiar la codificación óptima según el caso que se esté estudiando.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación binaria

Es la codificación más extendida debido a que los primeros algoritmos genéticos utilizaron este tipo de codificación. En este caso, cada cromosoma es una cadena de bits (0 o 1). A su favor tiene que puede abarcar muchos cromosomas incluso con un número reducido de genes. Sin embargo por otro lado esta opción no es la idónea para muchos problemas y en algunas ocasiones es necesario realizar correcciones después de la reproducción y/o mutación.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación binaria

Este tipo de codificación se utiliza por ejemplo en el **problema de la mochila**. En este problema tenemos una mochila con una cierta capacidad y una serie de objetos que queremos introducir. Estos objetos tendrán un peso y un beneficio o un valor para nosotros. La capacidad de la mochila es inferior a la suma del peso de todos los objetos. El objetivo es conseguir que la suma de los beneficios o valores sea máxima y que la suma de los pesos no supere el de la capacidad de la mochila.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación numérica

En este tipo de codificación se utilizan cadenas de números que representan un número en una secuencia. Se utiliza en problemas en los que hay que ordenar algo, donde resulta muy útil. En algunos casos también es necesario como en el caso anterior realizar correcciones tras relaciones o mutaciones.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación numérica

Un ejemplo clásico de este tipo de codificación es el **problema del viajante** de comercio. En este caso tenemos una serie de ciudades por las que el comerciante debe pasar y las distancias entre ellas.

El objetivo es que el comerciante, partiendo de una ciudad origen, recorra todas las ciudades y vuelva al punto de partida pero recorriendo el menor número de kilómetros, por lo que habrá que localizar la combinación de ciudades que minimice dicho recorrido.

# Operaciones de los A.G.

## Codificación por valor directo

Este tipo de codificación será el utilizado en caso de resolución de problemas en el que se requiera del uso de valores de cifrado complicado como podría ser en el uso de números reales, cuya codificación con números binarios sería muy complejo. En codificación por valor directo cada cromosoma es una cadena de valores relacionados con el problema a estudiar, pudiendo ser desde números decimales, cadenas de caracteres o incluso una combinación de varios de ellos.



# Operaciones de los A.G.

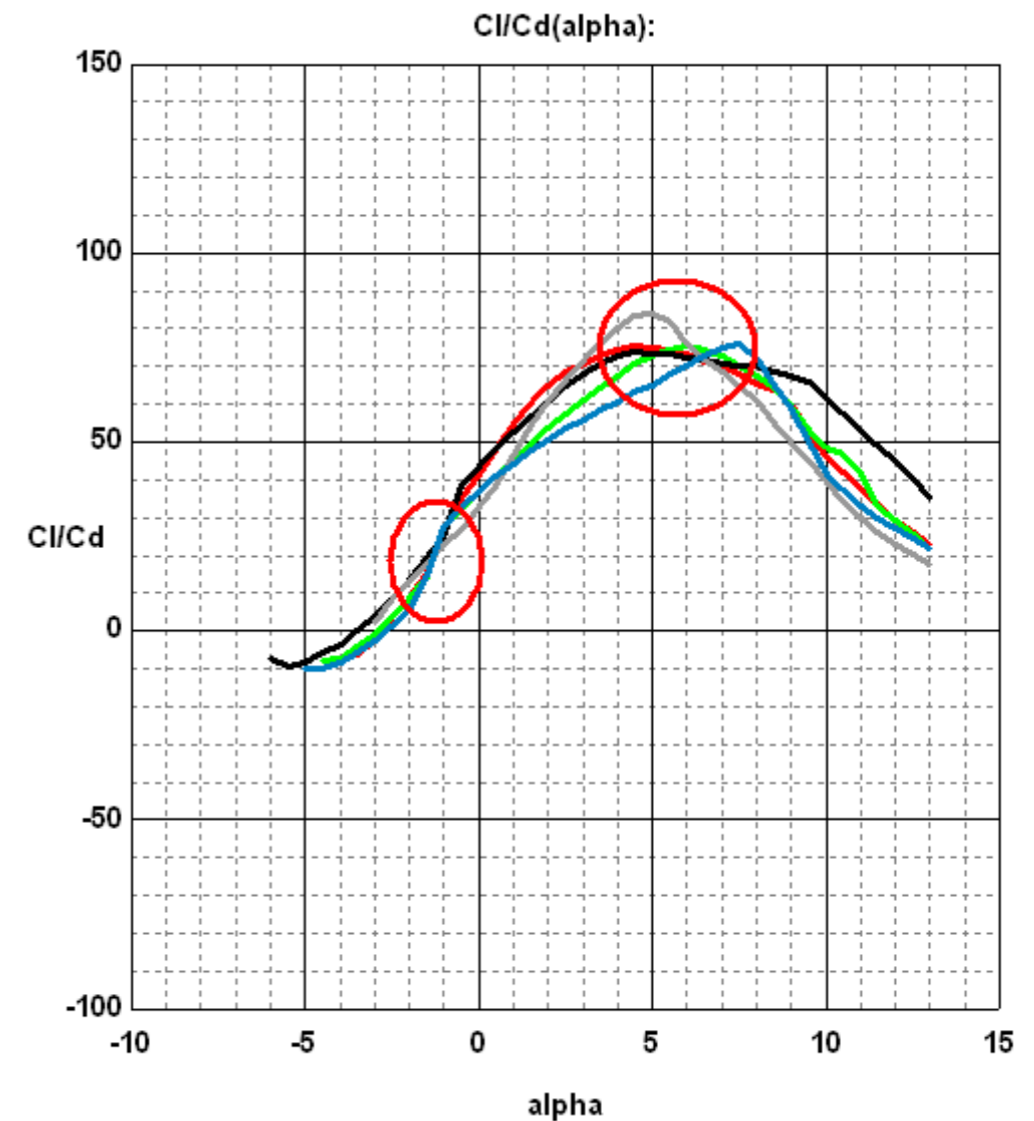
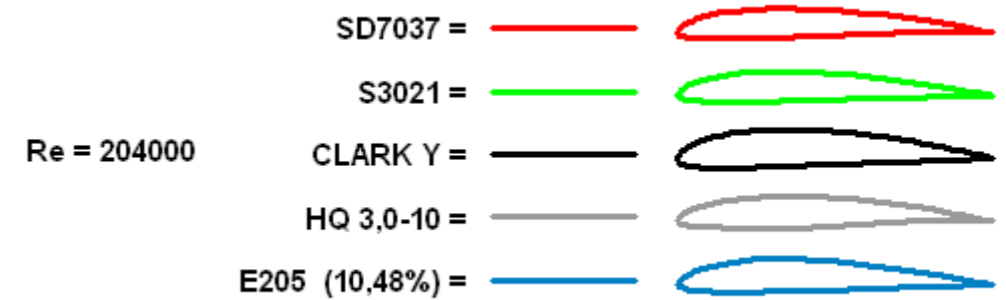
## Codificación por valor directo

Su aplicación es muy buena en ciertos problemas concretos. Por el contrario para la utilización de esta codificación, normalmente es necesario desarrollar nuevas técnicas de reproducción y mutación específicas hacia la resolución del problema.



# Operaciones de los A.G.

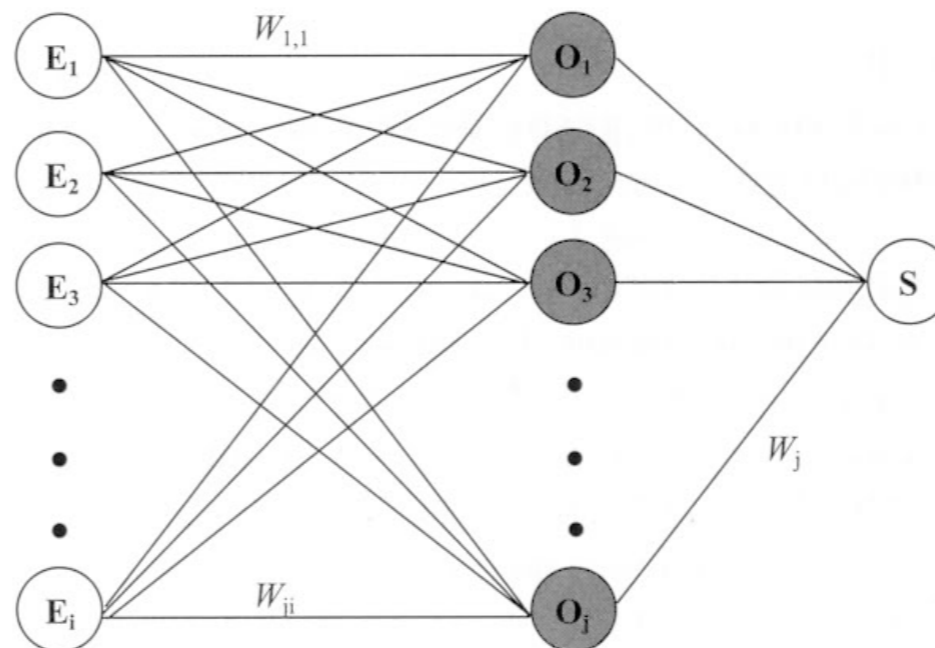
## Codificación por valor directo



# Operaciones de los A.G.

## Codificación por valor directo

Una aplicación de esta codificación se da en la resolución de problemas para la búsqueda de pesos para las **redes neuronales**. En este asunto se trata de encontrar el peso de las neuronas para ciertas entradas y así entrenar a la red para obtener la salida deseada. El valor del peso de las entradas vendrá representado en el propio cromosoma con dicha codificación.



# Operaciones de los A.G.

## Codificación en árbol

Este tipo de codificación se utiliza principalmente en el **desarrollo de programas** o expresiones para programación genética. Cada cromosoma será en este caso un árbol con ciertos objetos. En este método, los cambios aleatorios pueden generarse cambiando el operador, alterando el valor de un cierto nodo del árbol o simplemente sustituyendo un subárbol por otro.

# Operaciones de los A.G.

## Selección

Como ya hemos visto anteriormente es necesario hacer una **selección** con los **individuos** más **capacitados** para que éstos sean los que se reproduzcan con más probabilidad de acuerdo con la teoría de Darwin en la cual los más capacitados son los que deben sobrevivir y crear una nueva descendencia más facultada. Por lo tanto una vez evaluado cada cromosoma y obtenida su puntuación, se tiene que crear la nueva población teniendo en cuenta que los buenos rasgos de los mejores se transmitan a ésta. Esta selección se puede realizar de varias formas como se verá a continuación.

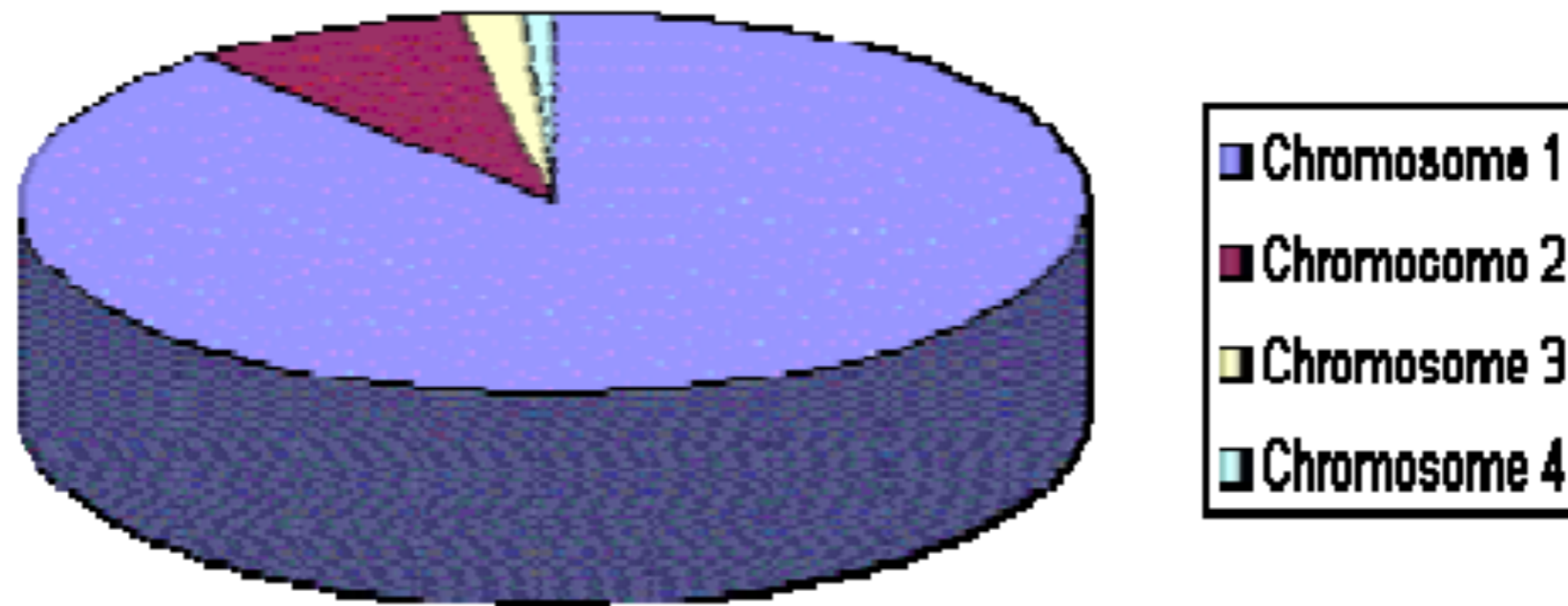
# Operaciones de los A.G.

## Selección por *rueda de ruleta*

Se crea para esta selección una ruleta con los cromosomas presentes en una generación. **Cada cromosoma tendrá una parte de esa ruleta mayor o menor en función a la puntuación que tenga cada uno.** Se hace girar la ruleta y se selecciona el cromosoma en el que se para la ruleta. Obviamente el cromosoma con mayor puntuación saldrá con mayor probabilidad. En caso de que las probabilidades difieran mucho, este método de selección dará problemas puesto que si un cromosoma tiene un 90% de posibilidades de ser seleccionado, el resto apenas saldrá lo que reduciría la diversidad genética.

# Operaciones de los A.G.

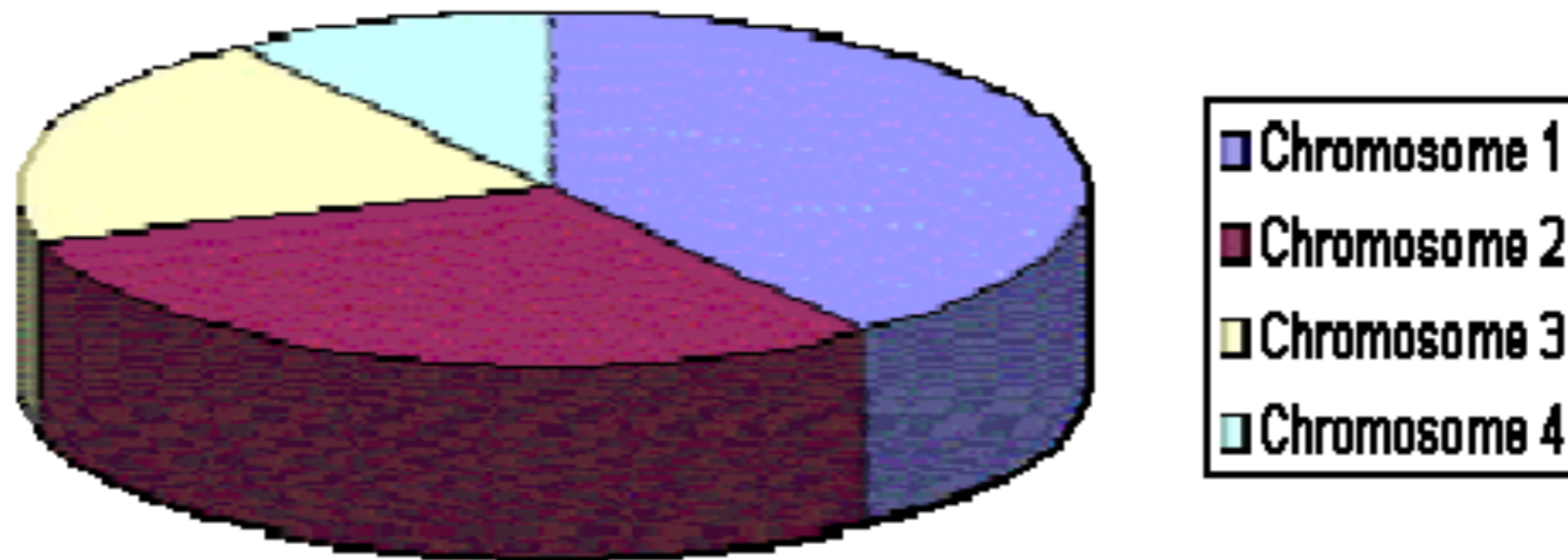
Selección por *rueda de ruleta*



# Operaciones de los A.G.

## Selección por *rango*

En este método a cada cromosoma se le asigna un rango numérico basado en su aptitud y la selección se realiza en base a este ranking. Veamos la diferencia entre el caso anterior y este a través de un ejemplo gráfico.





# Operaciones de los A.G.

## Selección por *rango*

Vemos como en este último caso se va a producir una variedad genética mucho más rica que en el primer caso. El **problema** de esta selección es que la **convergencia puede ser más lenta** ya que no existe tanta diferencia entre el mejor cromosoma y el resto como ocurría antes.

# Operaciones de los A.G.

## Selección por *elitista*

En ciertas ocasiones puede suceder que tras el cruce y la mutación, perdamos el cromosoma con mejor adaptación. Este método de selección **copia el mejor cromosoma** o alguno de los mejores en la nueva población. El resto se realiza de la misma forma que hemos visto anteriormente. El elitismo puede mejorar el funcionamiento de los algoritmos genéticos al evitar que se pierda la mejor solución. Una variación del elitismo es que el mejor cromosoma solo se copie a la siguiente generación en caso de que tras una reproducción/mutación no se haya generado un cromosoma mejor.

# Operaciones de los A.G.

## **Selección por *estado estacionario***

La descendencia de los individuos seleccionados en cada generación vuelve a la población genética preexistente, reemplazando a algunos de los miembros menos aptos de la anterior generación. Se conservan algunos individuos entre generaciones.

# Operaciones de los A.G.

## Selección por *torneo*

Se escogen de forma aleatoria un número de individuos de la población, y el que tiene puntuación mayor se reproduce, sustituyendo su descendencia al que tiene menor puntuación.

# Operaciones de los A.G.

## *Selección de escalada*

Al incrementarse la aptitud media de la población, la fuerza de la presión selectiva también aumenta y **la función de aptitud se hace más discriminadora**. Este método puede ser útil para seleccionar más tarde, cuando todos los individuos tengan una aptitud relativamente alta y sólo les distinguan pequeñas diferencias en la aptitud.

# Operaciones de los A.G.

## Selección *jerárquica*

En esta selección, los individuos atraviesan múltiples rondas de selección en cada generación. Las evaluaciones de los primeros niveles son más rápidas y menos discriminatorias, mientras que los que sobreviven hasta niveles más altos son evaluados más rigurosamente. La ventaja de este método es que reduce el tiempo total de cálculo al utilizar una evaluación más rápida y menos selectiva para eliminar a la mayoría de los individuos que se muestran poco o nada prometedores, y sometiendo a una evaluación de aptitud más rigurosa y computacionalmente más costosa sólo a los que sobreviven a esta prueba inicial.

# Operaciones de los A.G.

## **Selección *otras selecciones***

Existen otras técnicas de selección que simplemente se comentarán a continuación.

Una de ellas es la selección por prueba de aptitud en las que los cromosomas con más aptitud tienen más posibilidad de ser seleccionados pero no la certeza.

La selección generacional en la que ningún miembro de la población anterior se encuentra en la nueva.

# Operaciones de los A.G.

## Reproducción o crossover

Una vez se realiza la selección de los cromosomas se procede a realizar la reproducción o **cruce entre dos** de estos **cromosomas**. Más concretamente, el crossover consiste en el **intercambio de material genético** entre dos cromosomas. El objetivo del cruce es conseguir que el descendiente mejore la aptitud de sus padres.



# Operaciones de los A.G.

## Reproducción o crossover

Para aplicar el cruce habrá que seleccionar con anterioridad dos individuos de la población con una de las diversas técnicas de selección que hemos mencionado en el punto anterior. Además esta selección puede elegir el mismo padre para un descendiente. Esto no es ningún problema pues se asegura la perpetuación del cromosoma más dominante pero si este cruce se produjese con mucha frecuencia podría acarrear consecuencias adversas en caso de que ese cromosoma dominante presente algunos genes no deseados.

# Operaciones de los A.G.

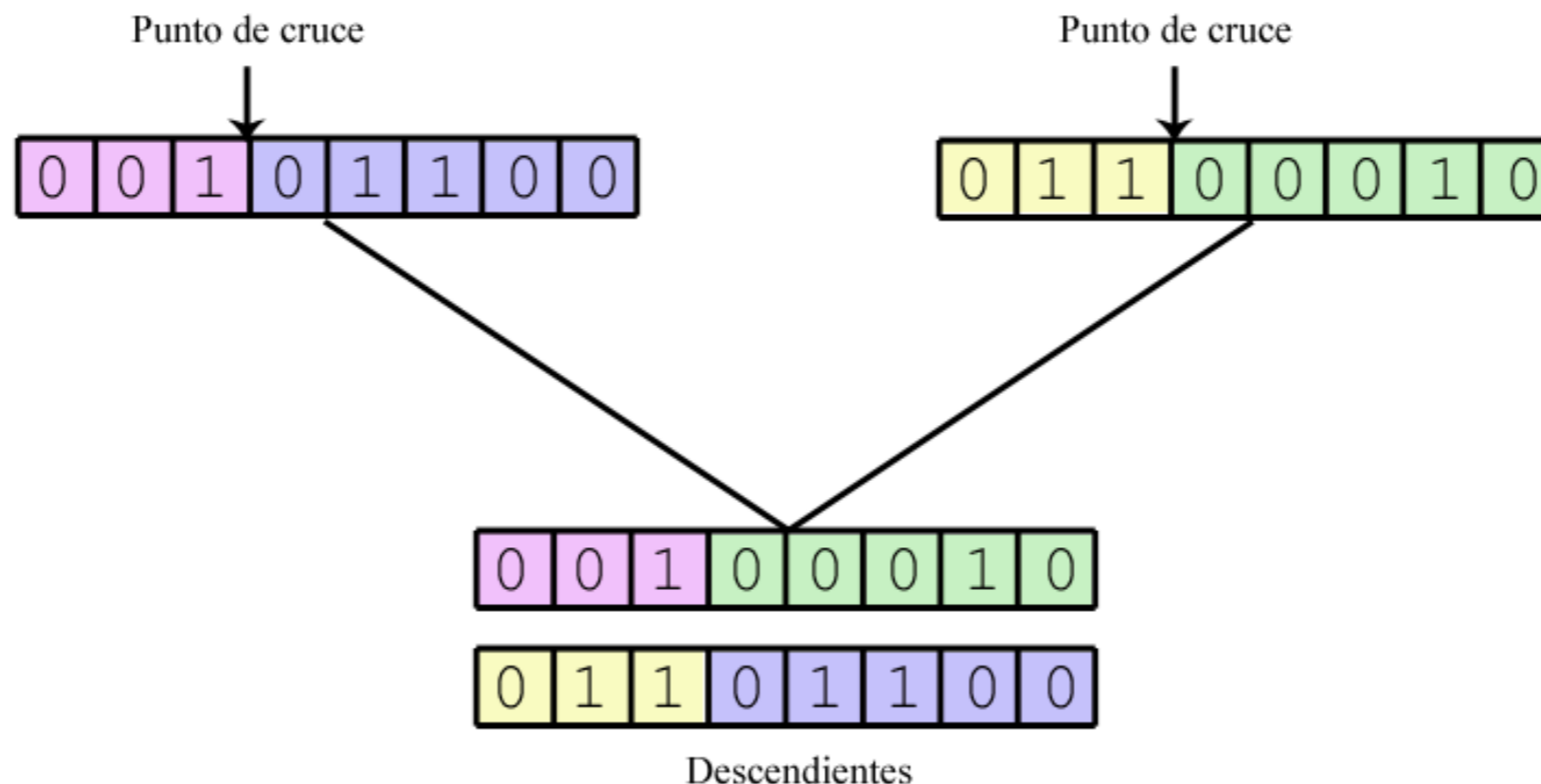
## Reproducción o crossover

Hay diferentes formas de realizar los cruces para cada codificación siendo algunas técnicas aplicables indistintamente a las distintas codificaciones como veremos a continuación.

# Operaciones de los A.G.

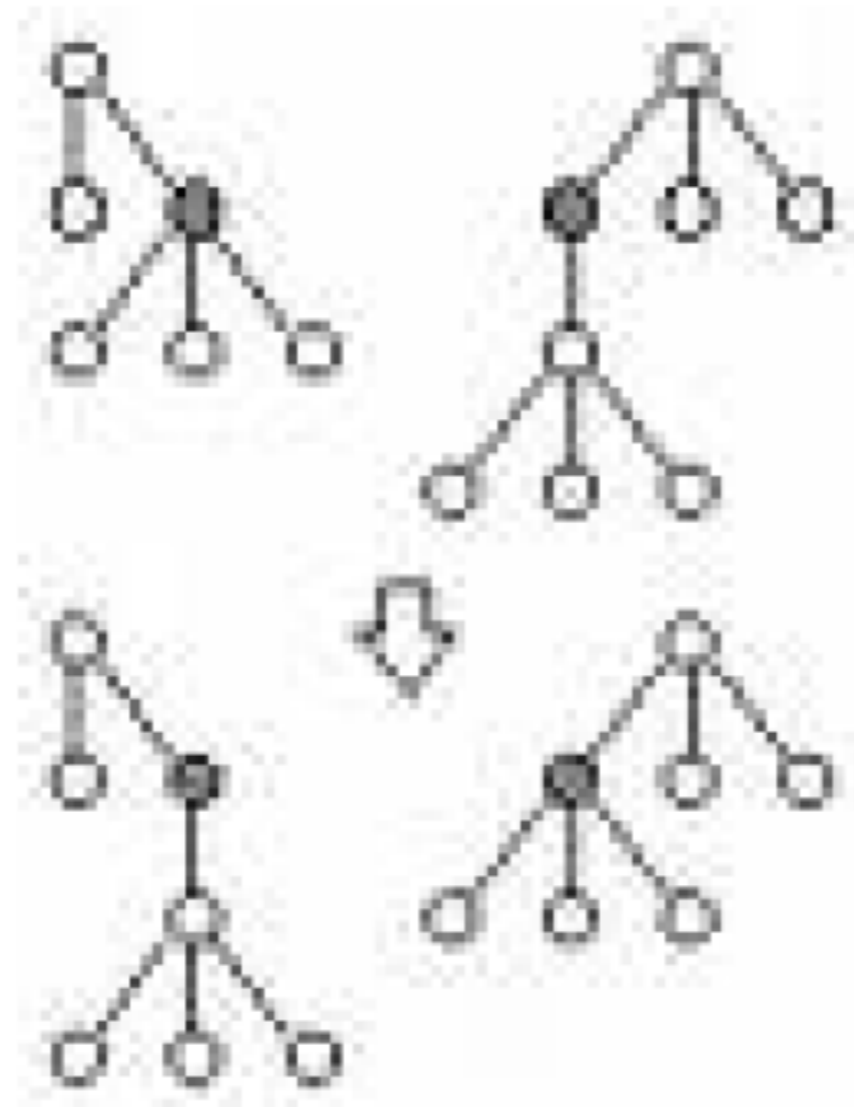
## Crossover un punto

Los dos cromosomas padres se cortan por un punto. Se copia la información genética de uno de los padres desde el inicio hasta el punto de cruce y el resto se copia del otro progenitor. Es una de las formas clásicas de crossover.



# Operaciones de los A.G.

## Crossover un punto



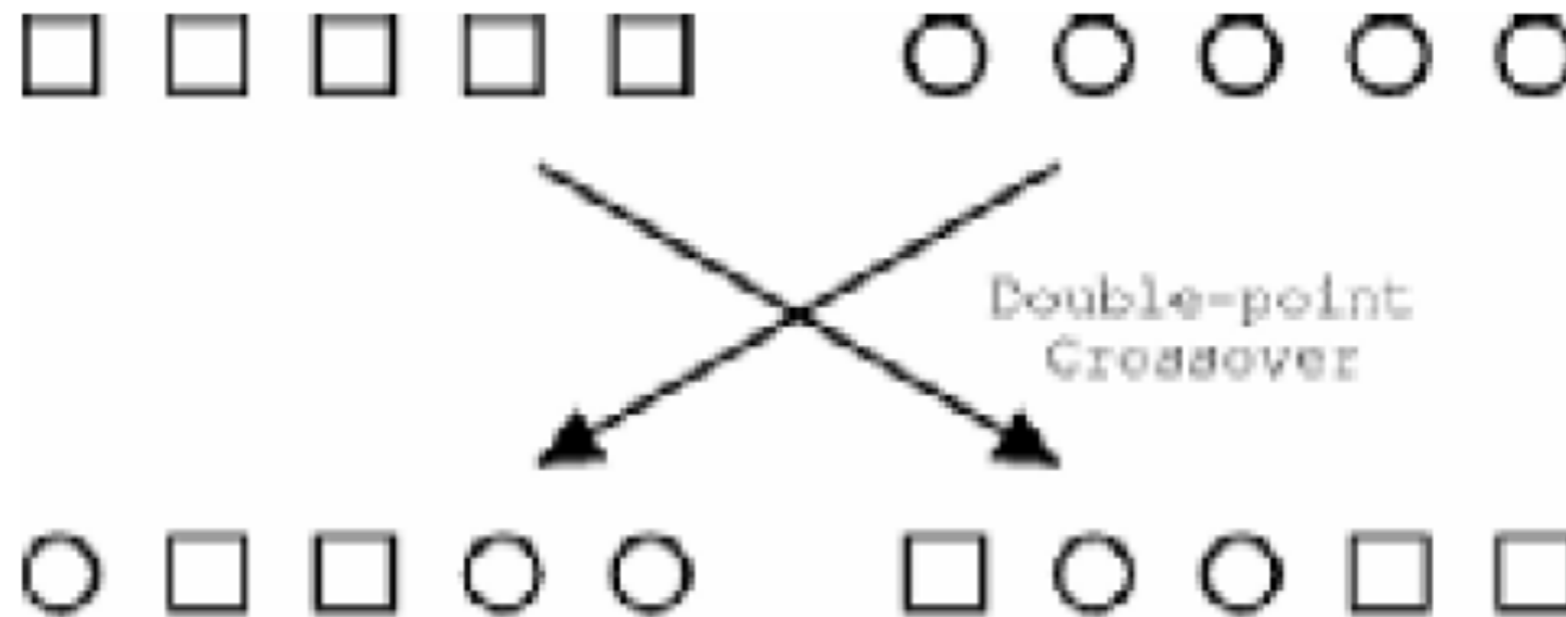
# Operaciones de los A.G.

## Crossover dos puntos

Se trata de la misma filosofía que en el caso anterior pero en este caso los padres se cortan por dos puntos. Se copiará al descendiente los genes de un cromosoma progenitor desde el principio hasta el primer punto de cruce, los genes del otro progenitor desde el primer punto de cruce hasta el segundo y del segundo punto de cruce hasta el final se copiará del otro progenitor.

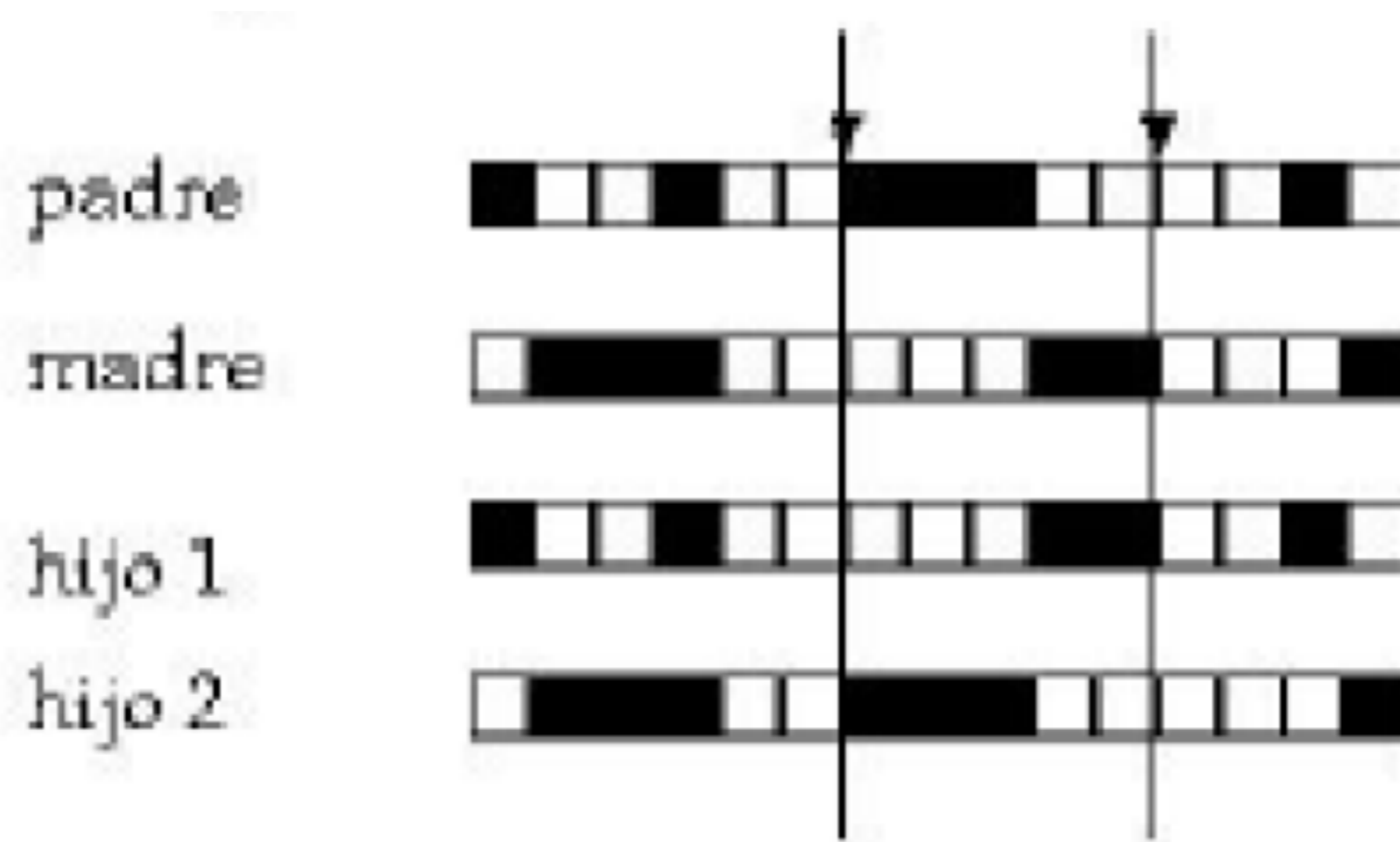
# Operaciones de los A.G.

## Crossover dos puntos



# Operaciones de los A.G.

## Crossover dos puntos



# Operaciones de los A.G.

## Crossover uniforme

Cada gen del descendiente se obtiene de cualquiera de los padres de forma aleatoria. Una opción es generar un número aleatorio. Si este número supera un cierto umbral se elegirá un padre determinado y si no lo supera se elige al otro.





# Operaciones de los A.G.

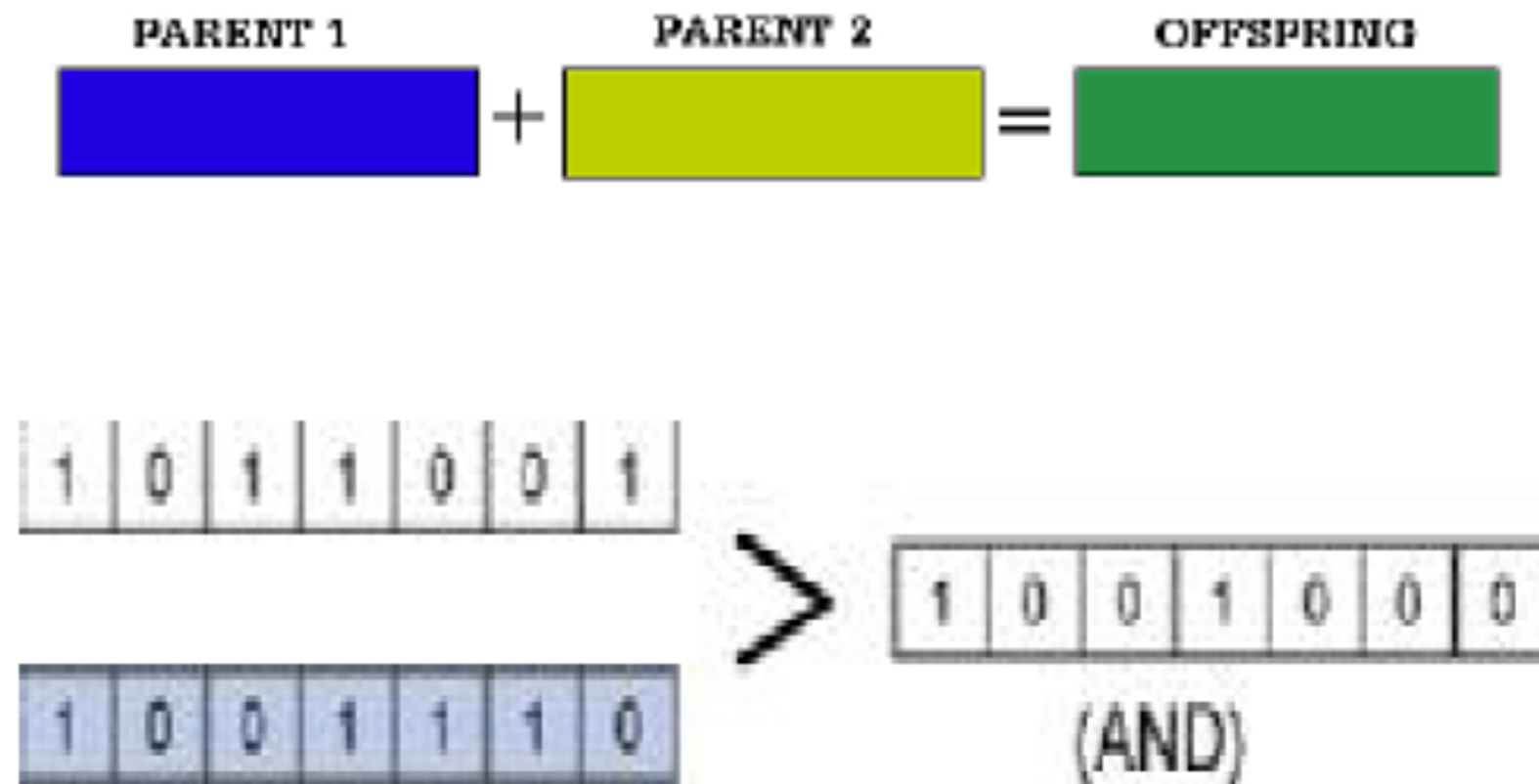
## Crossover uniforme

Parent 1	MIA	SFO	YEG	YHZ	YVR	YWG	YUL	YUL	YYZ
Parent 2	SFO	YEG	YHZ	YWG	YWG	YUL	YYZ	YYZ	YYZ
Random Bit String	0	1	1	1	0	1	0	0	0
Offspring 1	SFO	SFO	YEG	YHZ	YWG	YWG	YYZ	YYZ	YYZ
Offspring 2	MIA	YEG	YHZ	YWG	YVR	YUL	YUL	YUL	YYZ

# Operaciones de los A.G.

## Crossover aritmético

Los progenitores se recombinan según algún operador aritmético para generar su descendiente.



# Operaciones de los A.G.

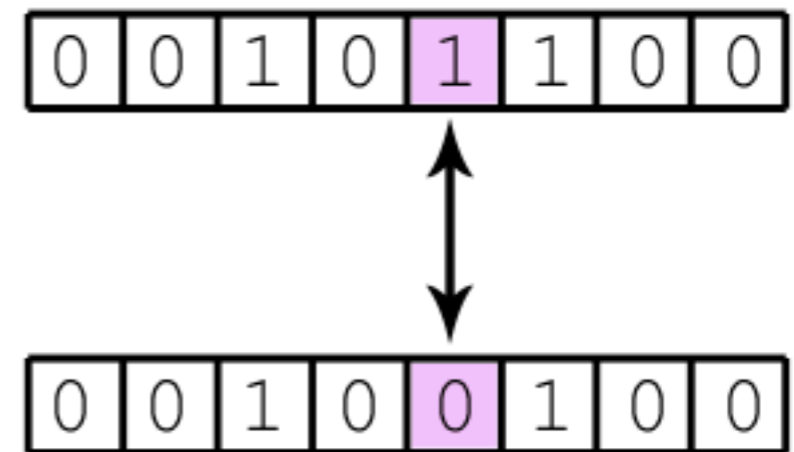
## Mutación

Tras el cruce, tiene lugar la mutación. Las mutaciones suelen en promedio ser beneficiosas pues contribuyen a la diversidad genética de la especie. Además previenen a las soluciones de la población de verse limitadas por un óptimo local. Por lo tanto la mutación consiste en modificar ciertos genes de forma aleatoria atendiendo a la probabilidad de mutación establecida con anterioridad. Si se abusa de la mutación podemos caer en el uso del algoritmo genético como una simple búsqueda aleatoria.

# Operaciones de los A.G.

## Mutación

Para el caso de una codificación binaria, la mutación consiste simplemente en la inversión del gen mutado que corresponderá con un bit. En el caso de una codificación numérica, la mutación podría consistir en sustituir un número por otro o intercambiar un número por otro que está en otra posición del cromosoma. En el caso de codificación por valor directo en el que por ejemplo usemos números reales, la mutación puede consistir simplemente en modificar el valor en unos decimales.



# Otros operadores

En algunos problemas se pueden utilizar otro tipo de operadores que buscan soluciones de forma más ordenada o que actúan en las últimas fases para optimizar la solución.

# Otros operadores

## Cromosomas de longitud variable

Puede suceder que para ciertas aplicaciones como en las redes neuronales no se conozca de antemano el número de neuronas que vamos a utilizar por lo que habrá que disponer de alguna técnica para solventar el problema. En estos casos, necesitamos dos operadores más: añadir y eliminar.

# Otros operadores

## Cromosomas de longitud variable

La forma más habitual es duplicar uno ya existente, el cual sufre mutación y se añade al lado del anterior. En este caso, los operadores del algoritmo genético simple (selección, mutación, crossover) funcionarán de la forma habitual, salvo, claro está, que sólo se hará crossover en la zona del cromosoma de menor longitud. Estos operadores permiten, además, crear un algoritmo genético de dos niveles: a nivel de cromosoma y a nivel de gen.

# Otros operadores

## Operadores de nicho

Estos operadores están encaminados a mantener la diversidad genética de la población, de forma que cromosomas similares sustituyan sólo a cromosomas similares, y son **especialmente útiles en problemas con muchas soluciones**. Un algoritmo genético con estos operadores es capaz de hallar todos los máximos, dedicándose cada especie a un máximo. Más que operadores genéticos, son formas de enfocar la selección y la evaluación de la población.



# Ventajas de los A.G.

1. Una clara ventaja es que los algoritmos genéticos son **intrínsecamente paralelos**, es decir, operan de forma simultánea con varias soluciones, en vez de trabajar de forma secuencial como las técnicas tradicionales. Esto significa que mientras técnicas tradicionales sólo pueden explorar el espacio de soluciones hacia una solución en una dirección al mismo tiempo, y si la solución que descubren resulta subóptima, no se puede hacer otra cosa que abandonar todo el trabajo hecho y empezar de nuevo. Sin embargo, los algoritmos genéticos simplemente desechan esta solución subóptima y siguen por otros caminos.

# Ventajas de los A.G.

2. Cuando se usan para problemas de optimización resultan **menos afectados por los máximos locales** (falsas soluciones) que las técnicas tradicionales. Muchos algoritmos de búsqueda pueden quedar atrapados en los óptimos locales: si llegan a lo alto de una colina del paisaje adaptativo, descubrirán que no existen soluciones mejores en las cercanías y concluirán que han alcanzado la mejor de todas, aunque existan picos más altos en algún otro lugar del mapa, situación que no sucede para algoritmos genéticos.

# Ventajas de los A.G.

3. Otra ventaja es su **habilidad para manipular muchos parámetros simultáneamente**. Resulta interesante en caso de tener varios objetivos a resolver.
4. **No necesitan conocimientos específicos sobre el problema** que intentan resolver. Realizan cambios aleatorios en sus soluciones candidatas y luego utilizan la función de aptitud para determinar si esos cambios producen una mejora o no.

# Ventajas de los A.G.

5. Resulta sumamente fácil ejecutarlos en las modernas **arquitecturas masivas en paralelo**.
6. Usan **operadores probabilísticos**, en vez de los típicos operadores deterministas de las otras técnicas.

# Desventajas de los A.G.

1. **Definir una representación del problema.** El lenguaje utilizado para especificar soluciones candidatas debe ser robusto, debe ser capaz de tolerar cambios aleatorios que no produzcan constantemente errores fatales o resultados sin sentido. Se puede solucionar mediante la definición de los individuos como listas de números donde cada número representa algún aspecto de la solución candidata.

# Desventajas de los A.G.

2. **Pueden tardar mucho en converger**, o no converger en absoluto, dependiendo en cierta medida de los parámetros que se utilicen (tamaño de la población, número de generaciones...)

# Desventajas de los A.G.

2. Pueden **converger prematuramente** debido a una serie de problemas. Si un individuo que es más apto que la mayoría de sus competidores emerge muy pronto en el curso de la ejecución, se puede reproducir tan abundantemente que merme la diversidad de la población demasiado pronto, provocando que el algoritmo converja **hacia el óptimo local** que representa ese individuo, en lugar de rastrear el paisaje adaptativo lo bastante a fondo para encontrar el óptimo global. Esto es un problema especialmente común en las poblaciones pequeñas, donde incluso una variación aleatoria en el ritmo de reproducción puede provocar que un genotipo se haga dominante sobre los otros.

# Aplicaciones de los A.G.

La aplicación más común de los algoritmos genéticos ha sido la **solución de problemas de optimización**, en donde han mostrado ser muy eficientes. Sin embargo, no todos los problemas pudieran ser apropiados para esta técnica. Se recomienda en general tomar en cuenta las siguientes características del mismo antes de intentar usarla:

- Su espacio de búsqueda debe estar delimitado dentro de un cierto rango.
- Debe poderse definir una función de aptitud que nos indique qué tan buena o mala es una cierta respuesta.



# Aplicaciones de los A.G.

- Las soluciones deben codificarse de una forma que resulte relativamente fácil de implementar en la computadora.

# Aplicaciones de los A.G.

## Aplicaciones prácticas

- Diseño por computadora de nuevos materiales que cumplan múltiples objetivos.
- Optimización de la carga de containers.
- Asignación de procesos en topologías de redes con procesamiento distribuido.
- Ubicación de archivos en sistemas de almacenamiento distribuido.
- Diseño de circuitos integrados.
- Optimización de la infraestructura de telefonía celular.
- Ingeniería Aeroespacial.
- Juegos.
- Robótica.

# En resumen

Evaluación de la descendencia

$$f(\circ)$$

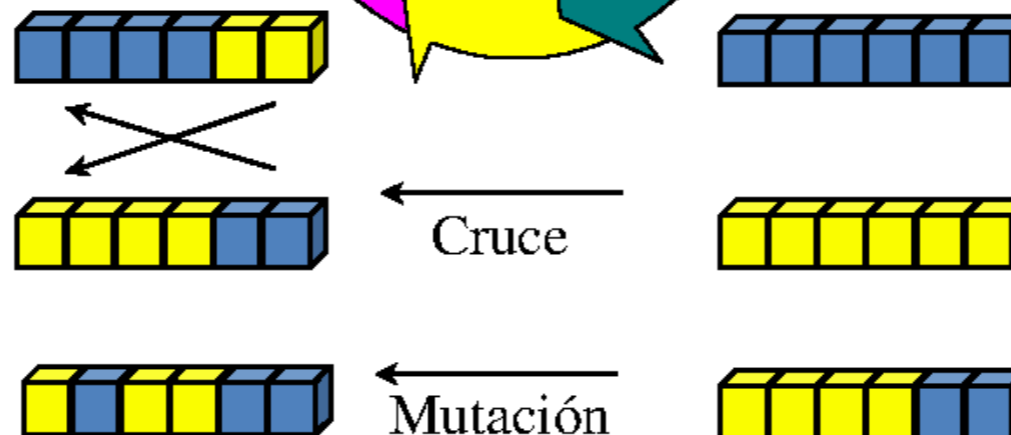
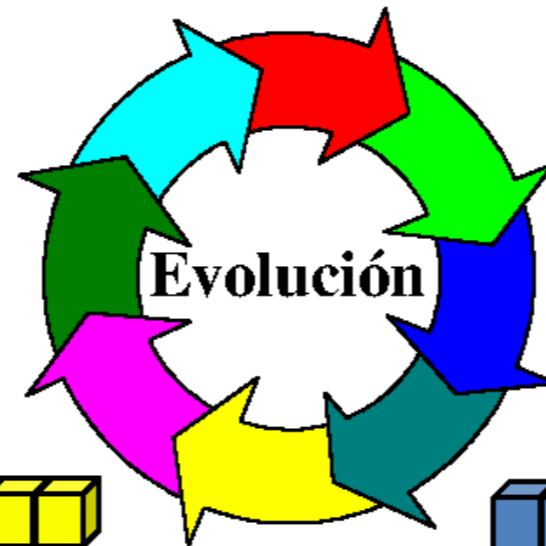
Nueva población de descendientes

Individuo	genotipo	<i>fitness</i>
x <sub>1</sub>	100100	1296
x <sub>2</sub>	010010	324
x <sub>3</sub>	010110	484
x <sub>4</sub>	000001	1

Selección de Progenitores



Reproducción



**¿Qué es mejor, una población grande y pocas generaciones o una población menor con un mayor número de generaciones?**