

# Programación Evolutiva

## Tema 1: Introducción a la Computación Evolutiva

Carlos Cervigón, Lourdes Araujo. 2009-2010.

## Contenido

- ❑ Orígenes
- ❑ Antecedentes Biológicos
- ❑ Esquema General
- ❑ Modelos sobre el Esquema General
- ❑ Relación con otras Áreas de Conocimiento
  - Inteligencia Artificial
  - Optimización Numérica

## Orígenes

- ❑ Los Algoritmos Evolutivos recogen un conjunto de modelos basados en la evolución de los seres vivos. Inspirados en la Naturaleza.
- ❑ La Computación Evolutiva surge a finales de los años 60 cuando John Holland planteó la posibilidad de incorporar los mecanismos naturales de selección y supervivencia a la resolución de problemas de Inteligencia Artificial.
- ❑ La aparición de computadores de grandes prestaciones y bajo coste a mediados de los 80 permite aplicar los AEs a la resolución de ciertos problemas que antes eran inabordables.
- ❑ En la actualidad funcionan con éxito en aplicaciones industriales de diversas áreas: Diseño de circuitos, Planificación de tareas, Cortado de patrones, etc.

## Antecedentes biológicos

- ❑ Los Algoritmos Evolutivos se basan en un modelo de evolución biológica natural que fue propuesto por primera vez por Charles Darwin.
- ❑ La teoría de la evolución de Darwin explica el cambio adaptativo de las especies por el principio de la selección natural, que favorece la supervivencia y evolución de aquellas especies que están mejor adaptadas a las condiciones de su entorno.
- ❑ Otro factor importante de la selección es la aparición de variaciones pequeñas, aparentemente aleatorias y sin dirección en los fenotipos (características físicas).
- ❑ Estas mutaciones sobreviven a la selección si demuestran su valor en el entorno en curso.

## Antecedentes biológicos

- La fuerza básica conductora de la selección viene dada por el fenómeno natural de producción de descendencia.
- Bajo condiciones ambientales ventajosas, el tamaño de la población crece exponencialmente: proceso limitado por la existencia de recursos finitos.
- La bioquímica moderna y la genética han extendido la teoría de Darwin con descubrimientos microscópicos relativos a los mecanismos de herencia.
- La teoría resultante se denomina Teoría sintética de la evolución o neodarwinismo. Esta teoría se basa en los genes como unidades de transferencia de herencia.
- Ocasionalmente los genes se modifican por mutaciones.

## Antecedentes biológicos

- El **ADN** es una macromolécula. Las secuencias de las cuatro bases (Adenina, Timina, Citosina y Guanina) en la molécula de ADN determinan las características de cualquier organismo.
- Un **gen** es una sección de ADN que codifica una cierta función bioquímica definida, normalmente la producción de una proteína.
- El ADN de un organismo puede contener desde una docena de genes (como un virus), hasta decenas de miles (humanos).
- Se denomina **cromosoma** a una de las cadenas de ADN que se encuentra en el núcleo de las células. Son los responsables de la transmisión de información genética.
- El gen ocupa una región particular de un cromosoma (se denomina "lugar" o "**locus**").
- En cada determinado lugar pueden existir formas alternativas del gen. A estas formas alternativas se les llama **alelos**.

## Antecedentes biológicos



cromosoma



gen

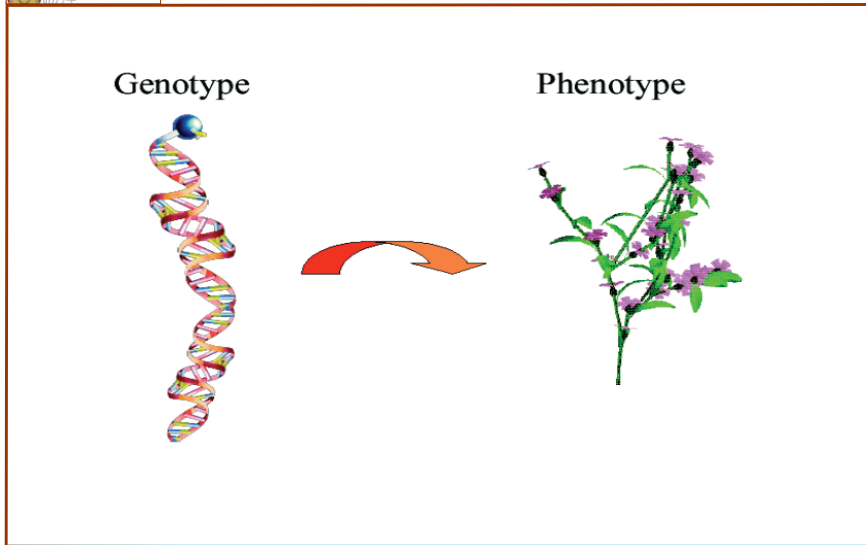


alelo

- Se denomina **cromosoma** a una de las cadenas de ADN que se encuentra en el núcleo de las células
- Un **gen** es una sección de ADN
- Alelo** es cada una de las formas del **gen**

## Antecedentes biológicos

- El **genoma** es el conjunto total de genes-cromosomas que posee un organismo.
- Se denomina **individuo** a un solo miembro de una población.
- Se denomina **población** a un grupo de individuos que pueden interactuar juntos.
- Se denomina **fenotipo** a los rasgos (observables) específicos de un individuo.
- Se denomina **genotipo** a la composición genética de un organismo (la información contenida en el genoma).

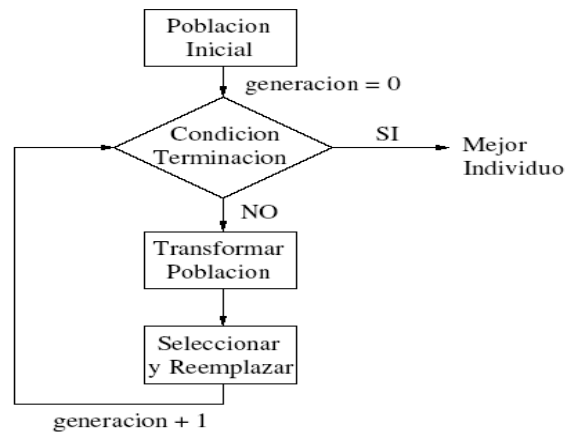


- ❑ El **genotipo** es una instancia concreta de los genes de un organismo
- ❑ Los cromosomas son cadenas de ADN y contienen genes (bloque de ADN) que codifican proteínas
- ❑ La selección actúa sobre los individuos, que expresan en su **fenotipo** las complejas interacciones dentro de su **genotipo** (su información genética total), así como la interacción del genotipo con el entorno determinando el fenotipo.
- ❑ La unidad de evolución es la **población** que consiste en el conjunto total de genes incluidos en los genotipos de los individuos.

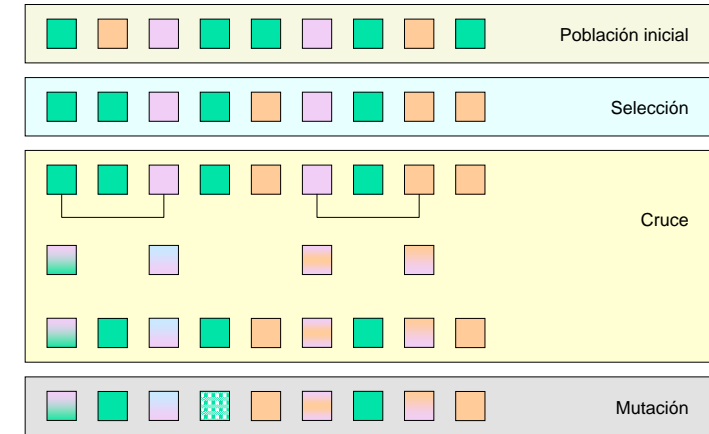
- ❑ Un AE trabaja con una **población de individuos**, que representan soluciones candidatas a un problema.
- ❑ Esta población se somete a ciertas transformaciones y después a un **proceso de selección**, que favorece a los mejores, según su aptitud.
- ❑ Cada ciclo de transformación y selección constituye una **generación**.
- ❑ Se espera que después de cierto número de generaciones el mejor individuo de la población esté cerca de la solución buscada.

- ❑ Los AEs combinan la búsqueda aleatoria, dada por las transformaciones de la población, con una búsqueda dirigida dada por la selección.
- ❑ Principales componentes:
  - **Población de individuos**, que son una representación de posibles soluciones.
  - **Procedimiento de selección** basado en la aptitud de los individuos para resolver el problema.
  - **Procedimiento de transformación** para construir nuevos individuos a partir de los anteriores.

## Estructura de un algoritmo evolutivo



## Estructura de un algoritmo evolutivo



## Estructura de un algoritmo evolutivo

- Una **población** de individuos coexiste en un determinado **entorno** con recursos limitados
- La **competición** por los recursos provoca la **selección** de aquellos individuos que están **mejor adaptados** al entorno
- Estos individuos se convierten en los progenitores de nuevos individuos a través de procesos de **mutación** y **cruce**
- Los nuevos individuos pasan a competir por su supervivencia
- Con el paso del tiempo, esta **selección natural** provoca el incremento en la **calidad** de los individuos de la población
- Los operadores de mutación y cruce generan **diversidad** facilitando la aparición de **novedad** en la población

## Esquema general



## Esquema Algoritmo Genético Simple

Inicializar de forma aleatoria una población P  
con soluciones candidatas

Evaluar cada candidato de P

Mientras no se cumpla condición de parada

1. Seleccionar progenitores S de P
2. Recombinar progenitores seleccionados  
obteniendo descendencia D
3. Mutar descendencia D
4. Evaluar nuevos candidatos

## Modelos sobre el esquema general

- ❑ **Algoritmos Genéticos:** trabajan con una población de cadenas binarias.
- ❑ **Estrategias Evolutivas:** trabajan con números reales que codifican las posibles soluciones de problemas numéricos.
- ❑ **Programas Evolutivos:** los individuos pueden ser cualquier estructura de datos.
- ❑ **Programas Genéticos:** los individuos son programas o autómatas, generalmente representados en forma de árbol.
- ❑ Lo mejor es elegir la representación más adecuada para nuestro problema y elegir los operadores de variación más adecuados para dicha representación

## Modelos sobre el esquema general

- ❑ *De Jong* dice que todas las variantes definidas en la diapositiva anterior son realmente instancias concretas de un **Sistema Evolutivo General** que incluye:
  - Una o más poblaciones de individuos compitiendo por recursos limitados.
  - Poblaciones cambiantes por el nacimiento y muerte de individuos
  - El concepto de fitness que refleja la capacidad de un individuo de sobrevivir y reproducirse
  - El concepto de herencia modificada: los descendientes se parecen a sus padres pero no son idénticos

## Inteligencia artificial

- ❑ Los Algoritmos Evolutivos pueden considerarse una técnica de aprendizaje no supervisado, es decir, aprendizaje inductivo por observación y descubrimiento:
  - No hay ningún maestro que presente ejemplos, contraejemplos, ni siquiera conocimiento al sistema de aprendizaje (estos algoritmos generan ejemplos por sí mismos).
  - La creación de nuevos ejemplos (puntos de búsqueda) por el algoritmo es una apuesta inductiva sobre la base del conocimiento existente.
  - Si esta apuesta se demuestra valiosa, se mantiene en la base de conocimiento (la población), en otro caso se desecha por medio de la selección.

## Inteligencia artificial: búsqueda

- Existen muchos casos de tareas de IA que pueden reducirse al problema de realizar una búsqueda heurística dentro de un espacio de búsqueda de gran tamaño.
- Las estructuras dentro de este espacio pueden ser relativamente complejas como permutaciones, grafos o estrategias de juego.
- La búsqueda se guía por una función heurística definida por el investigador que desarrolla el programa IA.
- El propósito de la función heurística es determinar la adecuación para el algoritmo de la estructura estudiada y podar el árbol de búsqueda en consecuencia.

## Inteligencia artificial: vida artificial

- La investigación en Vida Artificial se concentra en las simulaciones de computador de hipotéticas formas de vida simples y el problema de como hacer que su comportamiento sea adaptativo.
- Además, se investiga la aparición de propiedades de autoadaptación a partir de interacciones locales dentro de un número grande de agentes básicos simples.
- Los agentes cooperan para resolver un problema y a la vez compiten por un conjunto limitado de recursos (las acciones de los agentes puede ejecutarse asincrónicamente, en paralelo).
- Pueden encontrarse analogías con los sistemas naturales en diversos niveles, incluyendo partículas, células, órganos, individuos y poblaciones.

## Inteligencia artificial: vida artificial

- En muchos casos, los agentes están equipados con reglas internas o estrategias que determinan su comportamiento, y los Algoritmos Evolutivos se usan para hacer evolucionar estas estrategias.
- La investigación en Vida Artificial está actualmente en su periodo inicial, y no se pueden identificar claros límites de definición.
- El avance en este área puede llevar a mejorar la comprensión de la naturaleza de la vida, y de la aparición espontánea de comportamientos auto organizados.

## Optimización

- Tenemos un modelo de nuestro sistema y buscamos las entradas que nos conduzcan a un determinado objetivo



- El objetivo es encontrar un conjunto de parámetros (que pueden interpretarse tanto como genotipo, como fenotipo) tales que maximicen o minimicen cierto criterio de calidad.
- Los problemas de este tipo tienen un gran significado en muchos campos de investigación y producción industrial.
- Durante la evolución, podemos comprobar que tiene lugar un proceso de optimización de la adaptación

- Las posibles combinaciones de rasgos biológicos en una población de individuos definen puntos en un espacio multidimensional, donde cada eje de coordenadas corresponde a uno de estos rasgos.
- Se usa una dimensión adicional para dibujar los valores de adaptación de cada punto del espacio.
- De esta forma se define la superficie adaptativa (topografía), que en su forma simplificada tridimensional (dos dimensiones de rasgos, y una de aptitud) parece una región montañosa, con valles, picos y puntos de silla.
- Ejemplos:
  - Optimización de funciones, Diseño de estructuras, Optimización de planificaciones (horarios, recursos ...)

- Búsqueda y optimización son dos facetas de un mismo concepto:
  - búsqueda se refiere al proceso
  - optimización al resultado del proceso.
- El objetivo de un proceso de optimización es resolver

$$\mathbf{x}^{opt} = \underset{\mathbf{x} \in \mathcal{X}}{\operatorname{argopt}} f(\mathbf{x})$$

- En el que la aplicación  $f(\cdot)$  asocia a cada elemento  $\mathbf{x}$  del conjunto  $\mathcal{X}$  un vector de números reales

- Los candidatos a solución  $\mathbf{x}$  son estructuras (conjuntos, formaciones, árboles, grafos, etc.) de objetos los cuales se pueden caracterizar inequívocamente a través de  $m$  atributos en cierto orden.
- Al dominio del problema se le denota  $\mathcal{X}$  y no necesariamente coincide con el espacio de búsqueda del algoritmo, que se denota  $X$ .
- Sin pérdida de generalidad suponemos una maximización
- Suponemos optimización mono-objetivo:  $f(\mathbf{x})$  devuelve un escalar.
- $(\mathbf{x} > \mathbf{y})$  denota que " $\mathbf{x}$  es mejor que  $\mathbf{y}$ " y  $f(\mathbf{x}) > f(\mathbf{y})$  si se está maximizando.

- Clasificación de los procesos de optimización según la naturaleza de las soluciones:
  - **Numéricas**: Si la solución queda completamente especificada en términos de un conjunto de  $m$  parámetros o atributos.
  - **Combinatorias**: Si para especificar la solución no sólo hay que especificar un conjunto de  $m$  parámetros, sino también el orden (total o parcial) con que estos se combinan para dar dicha solución.
- (Si los parámetros son irrelevantes y sólo importa su orden tenemos problemas basados en el orden).



- Según el grado de aleatoriedad del proceso de búsqueda:
  - **Deterministas o dirigidas:** El procedimiento de búsqueda proporciona siempre el mismo resultado para las mismas condiciones de partida.
  - **Aleatorias o al azar:** El procedimiento de búsqueda es completamente aleatorio. Habitualmente, se delimita una región de búsqueda y se toman puntos al azar dentro de ellas. Después mediante argumentos estadísticos se hace una selección del valor del óptimo.
  - **Estocásticas u orientadas:** Se combinan en proporción variable la búsqueda determinista con la búsqueda aleatoria. La componente determinista orienta la dirección de búsqueda y la aleatoria se encarga de la búsqueda local.

- Según la dirección preferente de búsqueda:
  - **En profundidad:** Se da prioridad a la *explotación* de las soluciones disponibles antes que a la exploración de otras nuevas.
  - **En anchura:** La búsqueda da prioridad a la *exploración* de nuevas soluciones antes que a la explotación de las disponibles.
- Según el número de candidatos a solución que se mantienen simultáneamente:
  - **Simples:** Se mantiene un sólo candidato a solución que se va actualizando sucesivamente para proporcionar soluciones mejores al problema.
  - **Múltiples:** Se mantienen simultáneamente varios candidatos a solución con los cuales se va acotando cada vez con más precisión la región (o regiones) donde se encuentra el/los óptimo/s (más apropiadas para explotar paralelismo).

- Según la información disponible sobre la función a optimizar:
  - **Ciegas:** No se dispone de ninguna información explícita sobre la aplicación  $f(x)$ . Proporcionan algoritmos de búsqueda de propósito general, fáciles de aplicar a un problema específico.
  - **Heurísticas:** Se dispone de cierta información explícita sobre el proceso a optimizar (conocimiento específico), que se puede aprovechar para guiar la búsqueda. Proporcionan algoritmos específicos de búsqueda, difícilmente adaptables a otro problema.