

Introducción a la Computación Evolutiva



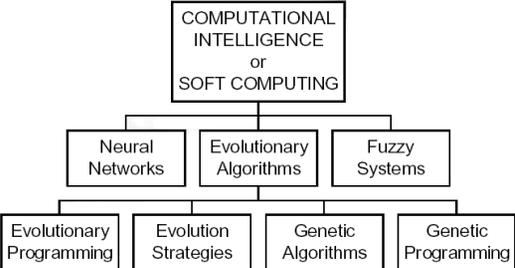
Fabio González, Ph.D.
 Germán Hernández, Ph.D.
 Carlos Camargo, M.Sc.
 Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
 Universidad Nacional de Colombia

Agenda

1. Introducción
 - Historia
 - Problemas de Búsqueda, optimización y aprendizaje
 - Formas de solucionar estos problemas.
2. Evolución Natural
3. Algoritmos Evolutivos
 - Algoritmos Genéticos
4. Ejemplo de un GA
5. Aplicaciones



Inteligencia Computacional



```

    graph TD
      A[COMPUTATIONAL INTELLIGENCE or SOFT COMPUTING] --> B[Neural Networks]
      A --> C[Evolutionary Algorithms]
      A --> D[Fuzzy Systems]
      C --> E[Evolutionary Programming]
      C --> F[Evolution Strategies]
      C --> G[Genetic Algorithms]
      C --> H[Genetic Programming]
  
```

Historia

Teoría de la evolución: Charles Darwin. *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural.*

- Pequeños cambios heredables en los seres vivos y la selección son los dos hechos que provocan el cambio en la naturaleza y la generación de nuevas especies.
- Darwin pensaba que los rasgos de un ser vivo eran como fluidos y los "fluidos" de los padres se mezclaban en la descendencia.



Historia II



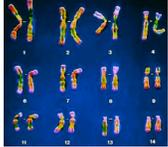
Gregor Mendel

- Los caracteres se heredan de forma discreta, y se toman del padre o de la madre, dependiendo de su carácter dominante o recesivo.
- Los caracteres (**genes**) pueden tomar diferentes valores (**alelos**)

Historia III

Walther Flemming (1930)

- Descubrió los cromosomas, como ciertos filamentos en los que se agregaba la cromatina del núcleo celular durante la división; poco más adelante se descubrió que cada célula tiene un número fijo y característico de cromosomas.



Watson y Crick (1950)

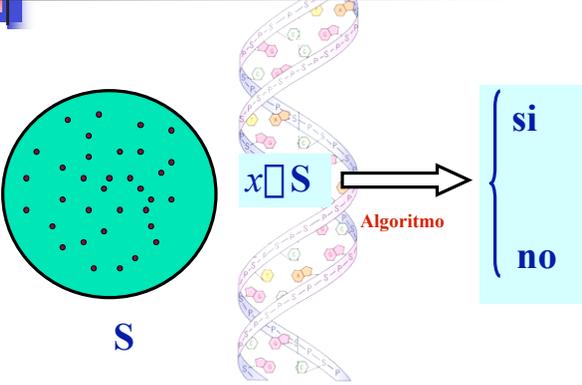
- Descubrieron que la base molecular de los genes está en el ADN, los cromosomas están compuestos de ADN, por lo tanto los genes están en los cromosomas.

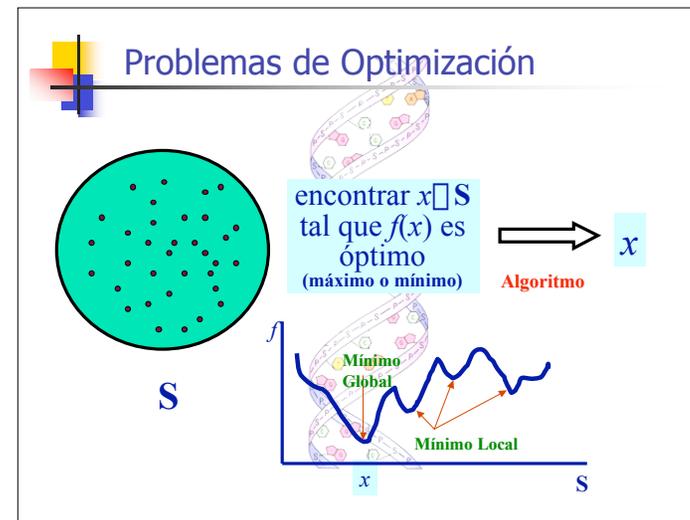
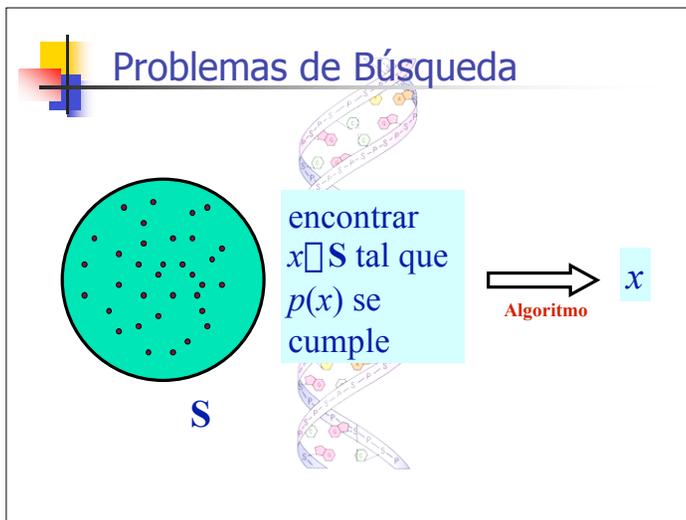


Historia IV

- Estrategias de Evolución:** 1960s, Estrategias de Evolución, (*Evolutionsstrategie*), I. **Rechenberg**.
- Computación Evolutiva:** 1960s, Lawrence **Fogel**
- Algoritmos Genéticos** (GAs), John **Holland** libro, "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*", 1975. David **Goldberg** "*Genetic Algorithms*", 1989
- John **Koza**, 1992: evolucionar programas para realizar ciertas tareas. **Programación Genética** (GP), LISP

Problemas de Decisión (si/no)





Algoritmos de Búsqueda, optimización y aprendizaje

- Búsqueda: hallar información dentro de un conjunto de datos.
- Dado el espacio de todas las posibles soluciones a un problema, y partiendo de **una solución** inicial, encontrar la mejor solución o la única.
- Algoritmos cuya complejidad crecen exponencialmente con el tamaño del problema NP - Completos.

Ejemplos:

- Puzzle

3	4	1	1	2	3	
5		2	→ 4		5	
6	8	7		6	7	8
- Problema del Agente viajero

Formas de resolver estos problemas I

- Método Analítico:**

Si existe F , de una sola variable, y tiene dos derivadas en todo su rango, se pueden hallar todos sus máximos. Sin embargo, no siempre se conoce F , y si se conoce no necesariamente debe ser diferenciable.
- Métodos exhaustivos, aleatorios y heurísticos:**
 - Exhaustivos:**
 - recorren todo el espacio de búsqueda
 - salida:** la mejor solución
 - Heurísticos:**
 - utilizan reglas para eliminar zonas del espacio de búsqueda consideradas "poco interesantes"
 - salida:** tal vez una buena solución,
 - Métodos aleatorios:**
 - van muestreando el espacio de búsqueda, acotando las zonas que no han sido exploradas;
 - salida:** se escoge la mejor solución y se da el intervalo de confianza de la solución encontrada.

Formas de resolver estos problemas II

Algoritmo **ascenso de colina** (*hill-climbing*):

Se evalúa la función en **uno o varios** puntos, pasando de un punto a otro en el cual el valor de la evaluación es superior

```
Escoger un valor inicial  $(X_1, \dots, X_n)$ 
Mientras que el valor de F siga aumentando:
 $(X'_1, \dots, X'_n) = (X_1, \dots, X_n) + (Y_1, \dots, Y_n)$ 

    evaluar  $F(X'_1, \dots, X'_n)$ 

    si  $F(X'_1, \dots, X'_n) > F(X_1, \dots, X_n)$  entonces
         $(X_1, \dots, X_n) = (X'_1, \dots, X'_n)$ 
    fin-si
Fin-Mientras
```

principal problema: se quedan en el pico más cercano a la solución inicial

Formas de resolver estos problemas III

Recocimiento Simulado (*Simulated Annealing*):

- una vez fundido el metal se va enfriando poco a poco hasta conseguir la estructura cristalina correcta
- ascenso estocástico
- evita quedarse en mínimos locales



Formas de resolver estos problemas III

Recocimiento Simulado (*Simulated Annealing*):

```
inicializar la Temperatura T
la solución inicial  $(X_1, \dots, X_n)$ 
evaluar  $f(X_1, \dots, X_n)$ 
mientras que la Temperatura sea nula o el valor de F converja
    Disminuir la temperatura.
    Seleccionar una nueva solución  $(X'_1, \dots, X'_n)$  en
        la vecindad de la anterior (mutación)
    evaluar  $f(X'_1, \dots, X'_n)$ 
    si  $f(X'_1, \dots, X'_n) > f(X_1, \dots, X_n)$  entonces
         $(X_1, \dots, X_n) = (X'_1, \dots, X'_n)$ 

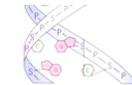
    si-no
        generar un número aleatorio R entre 0 y 1
        si
             $R < \frac{f(X'_1, \dots, X'_n) - f(X_1, \dots, X_n)}{T}$ 
             $(X_1, \dots, X_n) = (X'_1, \dots, X'_n)$ 
        fin-si
    fin-si
fin mientras
```

Formas de resolver estos problemas II

Técnicas basadas en población:

en lugar de tener una solución, que se va alterando hasta obtener el óptimo, se busca el óptimo cambiando varias soluciones

- más fácil escapar de mínimos locales
- algoritmos de computación evolutiva.



Conceptos Biológicos

- Los organismos vivos consisten de células. En cada célula existe el mismo conjunto de cromosomas
- **Cromosomas:** cadenas de **ADN**, modelo del organismo completo
- Un cromosoma consiste de **genes** (bloques de ADN)
Cada gen codifica una proteína particular (rasgo, p.e., color de ojos)
- **Alelos:** Los posibles valores para un rasgo (p.e., azul, café)
- **Locus:** Posición de un gen en el cromosoma

Conceptos Biológicos

- **Genoma:** conjunto completo de material genético (todos los cromosomas).
- **Genotipo:** conjunto particular de genes en un genoma.
- **Fenotipo:** el genotipo es la base para el **fenotipo** del organismo, posterior desarrollo después del nacimiento.

Conceptos Biológicos II

Genotype



Phenotype



Evolución Natural

- **Evolución natural**, como se observa en la naturaleza, proceso que **genera** construcciones **casi óptimas** (Mayr;1982)
- **Evolución Natural** (Karlín;1988) se puede ver como un proceso dinámico en el cual los organismos que se han adaptado de manera **aproximadamente óptima** proliferan en el ambiente

Evolución Natural II

Resultado de la acción de dos tendencias opuestas actuando sobre una **población** de una especie:

- **Selección Natural**: propensión a adaptarse a un ambiente dado a través de la preservación del más apto (“**supervivencia del más fuerte**”); y
- **Variación Genética o Polimorfismo**: propensión a producir variación para cumplir con los requerimientos del ambiente (“**recombinación sexual + mutación**”).

Selección Natural

- Permite a los individuos más aptos de una población sobrevivir, mientras los más débiles mueren.
- Operador que basado en una función de adaptabilidad actúa transformando una población en otra población seleccionada

Variación Genética

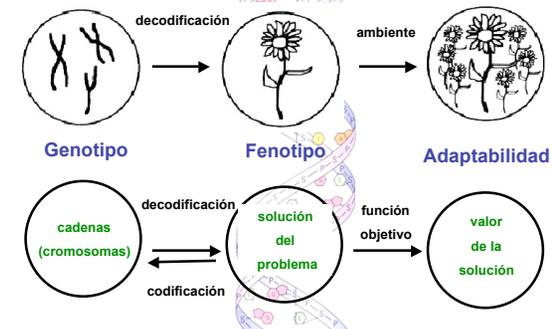
Mecanismos que introducen variación genética:

- Mutación
- Recombinación sexual
- Flujo de genes

Proceso Evolutivo

Resultado de un balance entre **estabilidad** dado por la selección y la **novedad** dada por la variación a medida que actúan sobre poblaciones, generación tras generación. (Fogel;1995) (Karlin;1984)

Genotipo, fenotipo y adaptabilidad en la naturaleza y en los AGs



Algoritmos Evolutivos

Métodos de Búsqueda Estocásticos

- Paralelos
- Voraces (*Greedy*)
- Aleatorios

población k → población $k+1$

Población: k puntos del espacio de búsqueda S

Representación computacional de los individuos y poblaciones

punto en el espacio de búsqueda

k puntos en el espacio de búsqueda

estructura computacional que representa el punto (cromosoma)

Algoritmos Evolutivos

Dado

- Un problema de **búsqueda** $[S, p(x)]$, con S el **espacio de búsqueda** y $p(x)$ la **propiedad** del elemento buscado,
- o
- Un problema de **optimización** $[S, f(x)]$, con S el **espacio de búsqueda** y $f(x)$ la **función objetivo** (se convierte en una función de adaptabilidad).

global maximum

local maxima

local maxima

S

Aplicaciones de AEs

AEs se usan ampliamente en muchas aplicaciones industriales:

- Programación (Scheduling) y Planeación
- Diseño VLSI
- Diseño en Ingeniería
- Predicción Financiera
- Minería de Datos

Aplicaciones de AEs ...



TSP

- movimiento de un lápiz de un *plotter*
- taladrado de circuitos impresos
- en rutamiento real de buses escolares
- programación de vuelos en aerolíneas
- camiones de carga y transporte postal
- caminos biomoleculares
- enrutar el procesamiento paralelo de una red de computadores
- criptografía
- determinar el orden de miles de exposiciones necesarias en cristalografía de rayos X

Aplicaciones de AEs ...



- Sistemas de Vida Artificial
- Comportamiento de Robots
- Aprendizaje de Máquina
- Toma de Decisiones
- Aplicaciones Financieras
- Diseño de Sistemas de Control
- Control Robusto
- Identificación de Sistemas
- Compresión de Imágenes

Tipos de Algoritmos Evolutivos



- Algoritmos Genéticos
 - optimización de problemas combinatorios
- Estrategias Evolutivas
- Programación Evolutiva
 - optimización de funciones continuas
- Programación Genética
 - problemas que requieren encontrar la solución a un problema dado en la forma de una función

Estrategias de Evolución (ES)

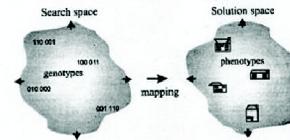
- Inicializado para problemas de diseño en ingeniería.
- *Normalmente*, no existe distinción entre los espacios de solución y búsqueda.
- Estrategias de evolución simples:
 - Un padre y un hijo
 - La solución hijo se genera aleatoriamente mutando los parámetros del padre
- Estrategias de evolución avanzadas:
 - *Pools* de padres e hijos
- A diferencia de GAs y GP
 - Las ES separan los individuos padres de los individuos hijos
 - Las ES selecciona las soluciones a partir de los padres, de manera determinística

Programación Evolutiva (EP)

- Similares a ESs, pero fue desarrollada de forma independiente
- Versiones recientes de la EP se aplica a la solución de autómatas de estados finitos
- reproducción se realiza únicamente por mutación (la versión original)
- Al igual que las ES opera sobre las variables de decisión del problema directamente (genotipo = fenotipo)
- Operadores genéticos específicos del problema
- Selección por torneo:
 - Los hijos se generan hasta que la población doble su tamaño.
 - Cada solución es evaluada, y la mitad de la población (con bajo grado de adaptación) se elimina

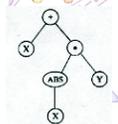
Algoritmos Genéticos (GA)

- Los más utilizados.
- Robustos.
- Utilizan dos espacios separados:
 - **Espacio de búsqueda** – Solución codificada (genotipo)
 - **Espacio solución** – Soluciones reales (fenotipo)
- Los genotipos deben ser *convertidos (mapped)* en fenotipos antes de evaluar la adaptación de cada solución



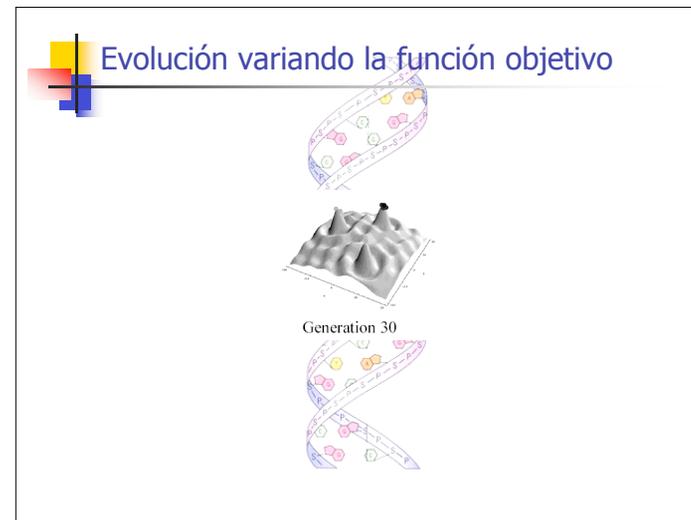
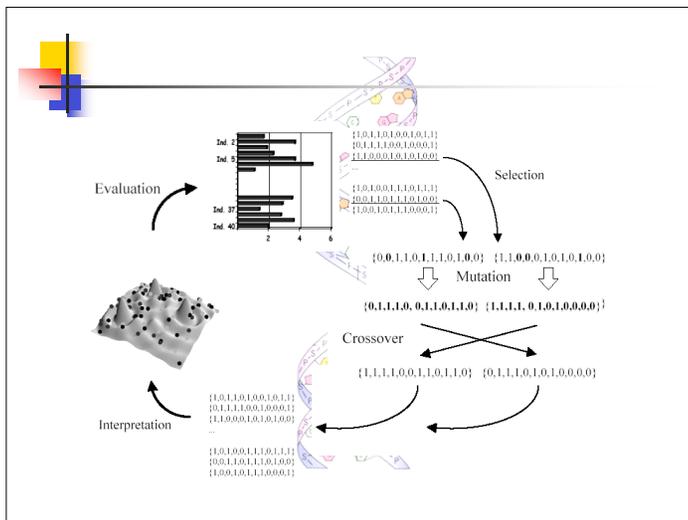
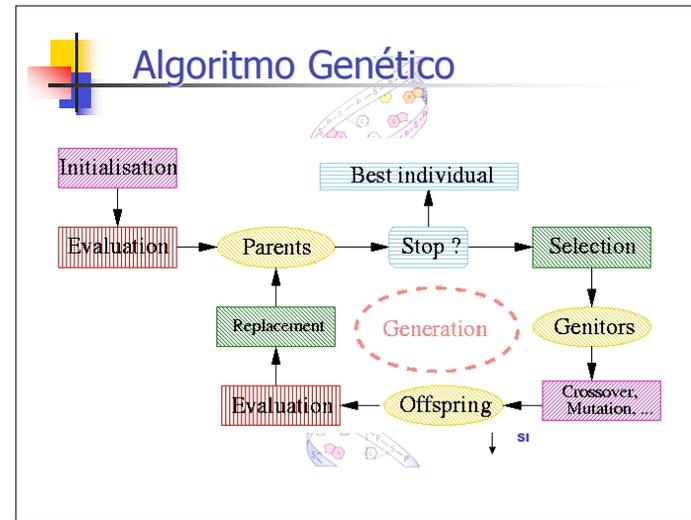
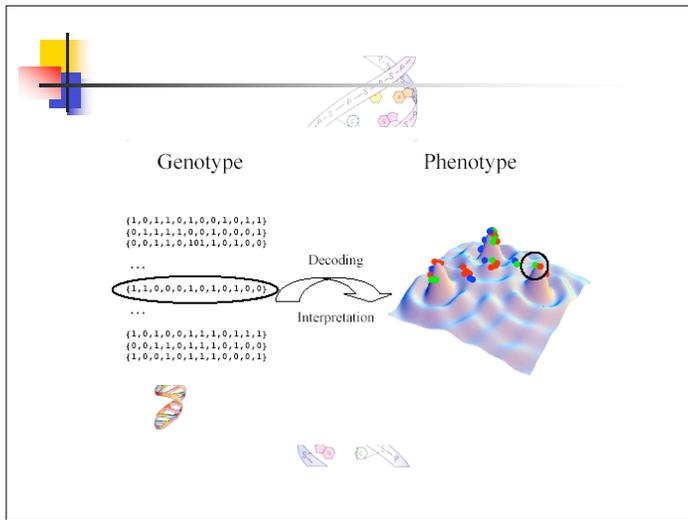
Programación Genética (GP)

- Forma especializada de los GA
- **Espacio de búsqueda:** Expresiones simbólicas
- **Espacio solución:** Programas de computador
- Manipula un tipo de solución muy específica utilizando operadores GA de mutación y recombinación modificados
- Sus primeras aplicaciones fueron para diseñar programas de computador
- En la actualidad se utilizan en áreas alternativas, por ejemplo diseño de circuitos análogos



Algoritmos Genéticos

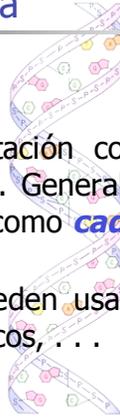
Los Algoritmos Genéticos (AGs) son algoritmos de **búsqueda** basados en los mecanismos de la **selección natural** (supervivencia del más apto) y los principios de la **genética**.



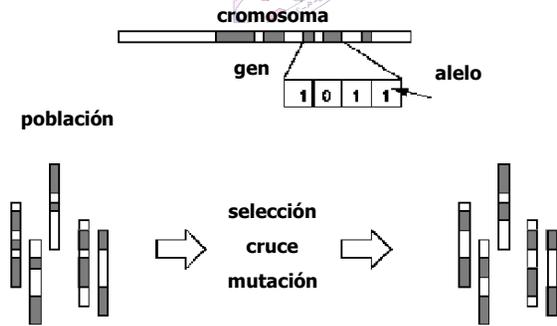
Cromosoma

Es la representación codificada de una posible solución. Generalmente se usa la representación como **cadenas de bits**

También se pueden usar punto flotante, códigos alfabéticos, ...



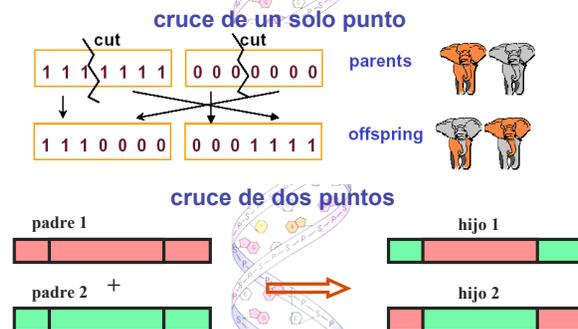
Algoritmo Genético

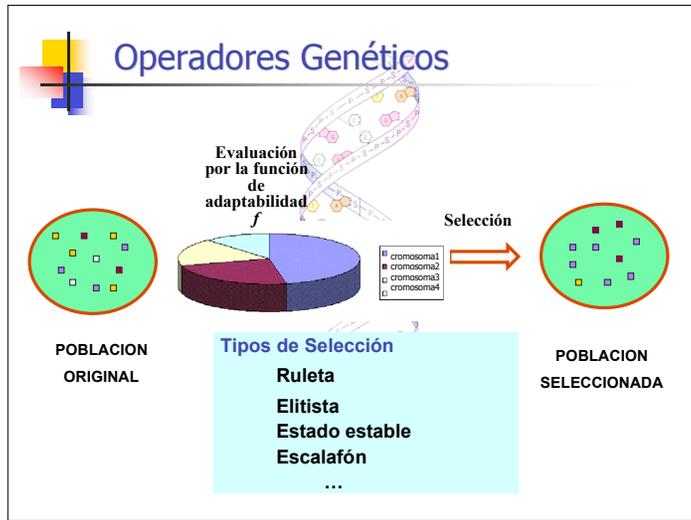
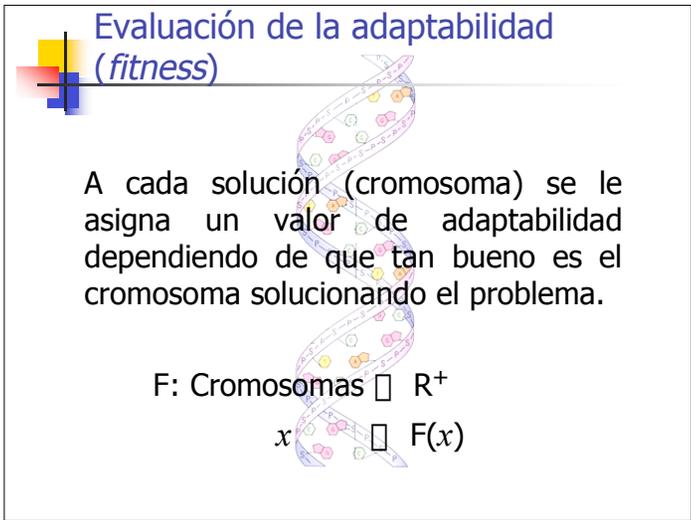
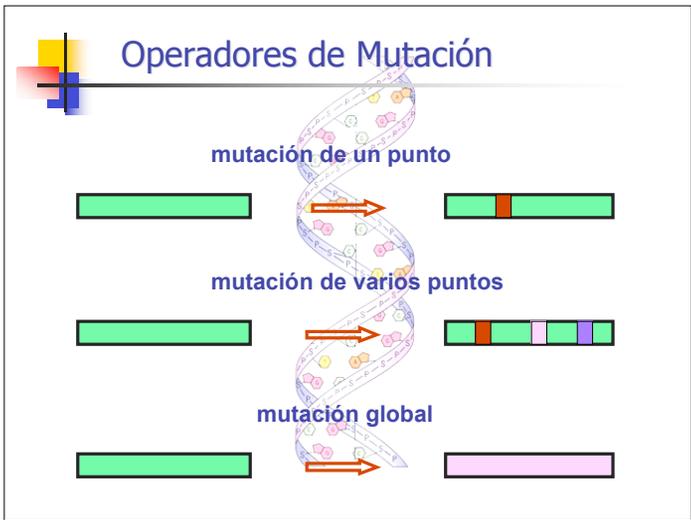


Implementación de Algoritmos Evolutivos

- **Representación**
 - Cadenas Binarias (Algoritmos Genéticos)
 - Arreglos Reales (Estrategias Evolutivas)
 - Programas (Programación Genética)
- **Operadores Genéticos**
 - Operador de Selección
 - Operadores de Variación
 - Operadores de Cruce
 - Operadores de Mutación
 - Operadores de Flujo Genético ...

Operadores de Cruce

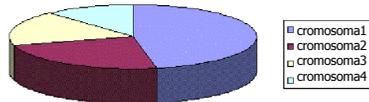




Selección por ruleta

- Imagine una **ruleta** donde se han ubicado todos los cromosomas en la población, cada uno tiene su lugar de acuerdo con su función de adaptabilidad

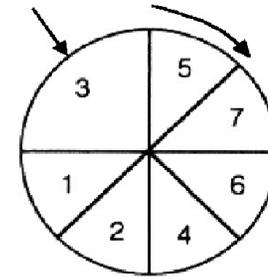
Los miembros más aptos tienen una tajada más grande



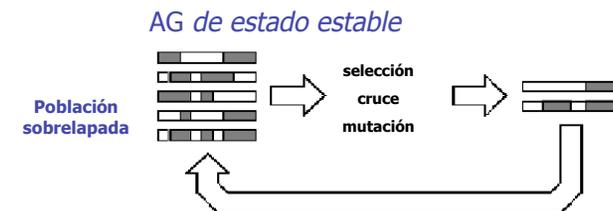
Para **escoger** un cromosoma, se gira la ruleta y se escoge el cromosoma del punto en donde se detenga

Selección por ruleta

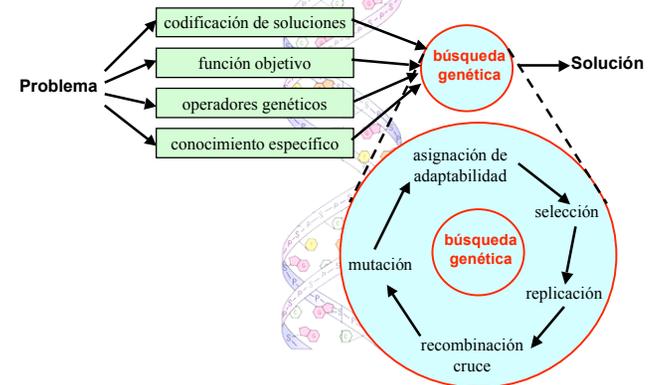
individuo	Fitness
2	1.0
3	2.0
4	1.333
5	1.333
6	0.667
7	0.667



AG simple



Solución de Problemas con AEs



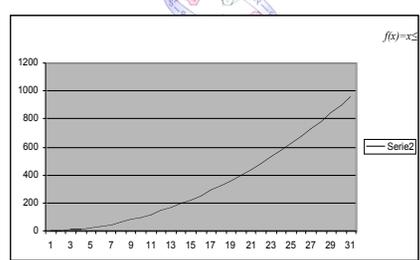
Links

- http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/example_f.html
- http://alife.fusebox.com/morph_lab.htm



Ejemplo

maximizar la función $f(x) = x^2$, donde x puede variar entre 0 y 31.



Ejemplo a mano (1)

No. cadena	población inicial	x	$f(x)$	pselect,	cantidad esperada	cantidad real
1	0 1 1 0 1	13	169	0.14	0.58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0.49	1.97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.06	0.22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.31	1.23	1
suma			1170	1.00	4.00	4.0
prom			293	0.25	1.00	1.0
max			576	0.49	1.97	2.0

