



# Algoritmos Evolutivos

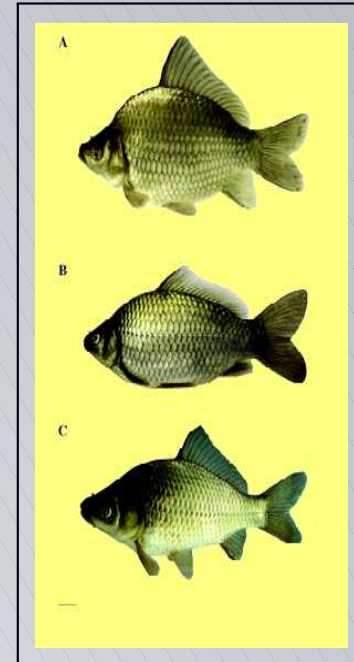
## *Computación Evolutiva*

M. E. Mazzei

UNA

# Evolución

- En la naturaleza, los procesos evolutivos ocurren cuando coexisten poblaciones de individuos que son capaces de reproducirse.
- En la población existen individuos que poseen alguna diferencia con respecto al resto de ésta, que los hacen más aptos.



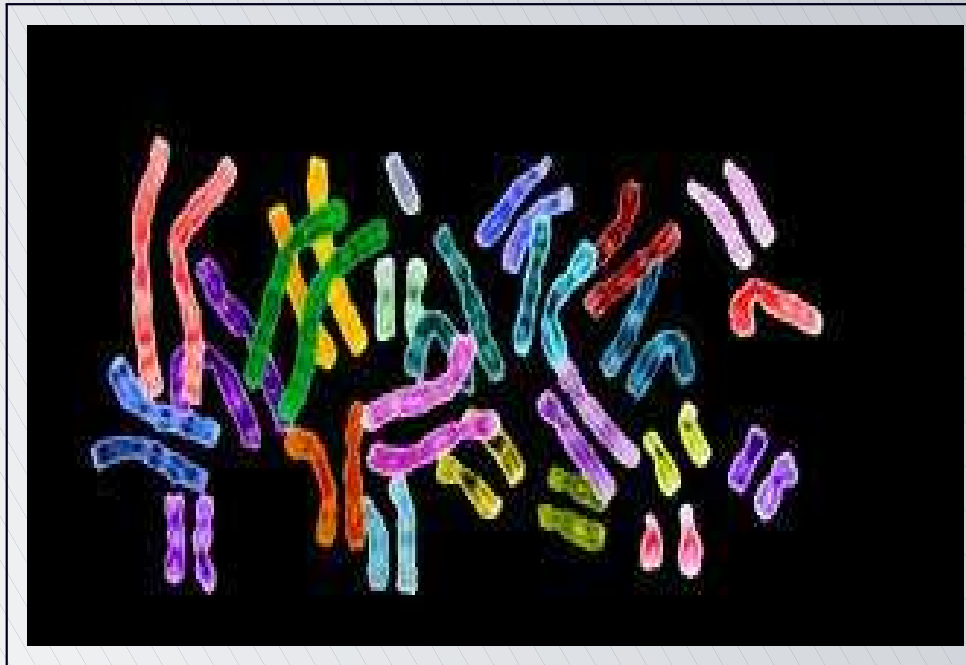
# Evolución y Genética

- Es posible transmitir esa diferencia a nuevas generaciones a través del cruce entre los individuos más aptos, resultando poblaciones de individuos mejor adaptados.
- Eventualmente ocurren mutaciones, ó alteraciones en los cromosomas de los individuos, que se pueden transmitir a los descendientes.



# Evolución y Genética

La evolución es un proceso que opera sobre los cromosomas, los cuales representan los códigos de las estructuras de la vida.



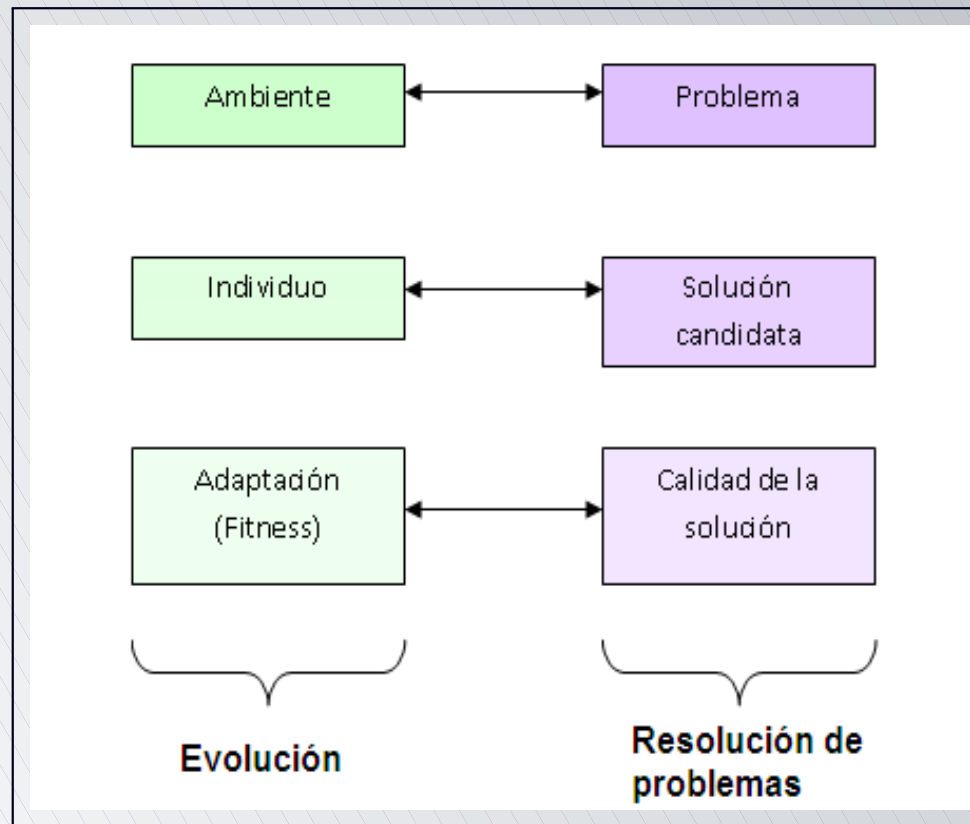
# Evolución según Darwin

- La población consiste de un conjunto diverso de individuos.
- Las combinaciones de características que producen mejor adaptación tienden a aumentar su representación en la población.
- Ocurren variaciones a través de cambios al azar, que producen una fuente constante de diversidad.

- Las ideas de la Selección Natural y de la Genética han sido tomadas para desarrollar técnicas basadas en meta-heurísticas, en el ámbito de la Computación. Se entiende por **meta-heurística**, una estrategia de alto nivel que guía a otras heurísticas en la búsqueda de soluciones factibles en dominios en los cuales la búsqueda puede ser compleja.
- Como resultado se han desarrollado métodos muy exitosos en la resolución de diversos tipos de problemas.

# Evolución Artificial

## Metáfora

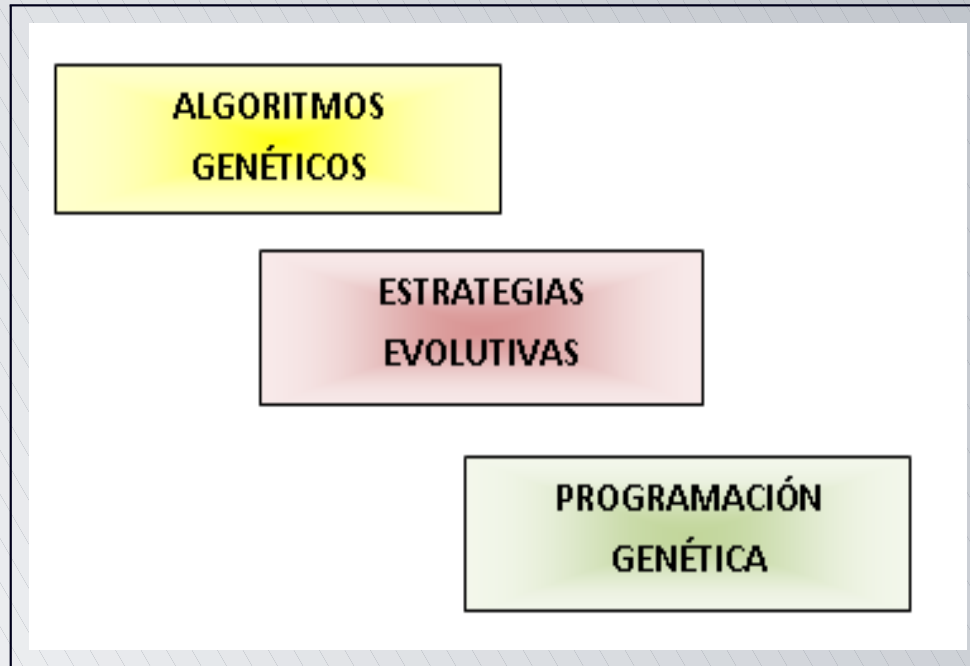


# Evolución Artificial

- Las soluciones forman una población de individuos, que se cruzarán mediante procesos aleatorios y a su grado de adaptación.
- La evaluación (o *fitness*) del individuo permite cuantificar su adaptación.
- La calidad de la solución podrá propagarse a nuevas generaciones.



# Paradigmas a tratar



# Algoritmos Genéticos: Generalidades

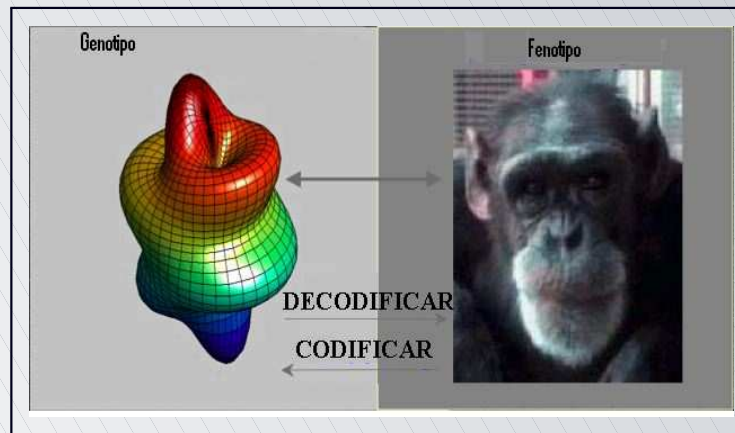
- Los Algoritmos Genéticos (GA) son métodos de búsqueda basados en una simulación parcial de los mecanismos de la evolución natural. Originalmente fueron creados para optimizar funciones en valores binarios.
- Fueron creados en la década de los 60 por John Holland, como un modelo de estudio de los procesos adaptativos de los sistemas biológicos y para el desarrollo de sistemas artificiales en el computador que permitieran incorporar las fortalezas presentes en los sistemas biológicos.

# Algoritmos Genéticos: Elementos.

- Cada individuo se representa por un cromosoma.
- Cada cromosoma consta de cierto número de posiciones o genes. Cada gen contiene un alelo.
- Sobre los individuos o cromosomas actúan ciertos operadores: selección de individuos a reproducir, recombinación y mutación.
- Se realizan ajustes de parámetros.

# Algoritmo Genético: otros conceptos tomados de la Genética

- La información genética que posee un organismo se llama **genotipo** y la apariencia física se llama **fenotipo**.
- El fenotipo se determina a partir del genotipo y comprende la morfología, fisiología y conducta del organismo.



# Algoritmo Genético en pseudolenguaje

Iniciar población

Evaluar población

Mientras no se satisfaga ( criterio de terminación) hacer

    Seleccionar padres para reproducción

    Aplicar operadores de recombinación y mutación

    Evaluar población

Fin Mientras

# Algoritmo Genético: Cromosomas

Los cromosomas pueden ser:

- **Números reales:** ej. (0, 0.5, 45,6, -0.2)
- **Cadenas de caracteres:** ej. ' \* ⊕ ♥ \* ⊙ ◇ '
- **Cadenas de bits:** ej. '00111101010'
- **Permutaciones de un conjunto de elementos:** ej.  
 $BAGFHLEJ \rightarrow BLGFHAEJ$
- **Reglas:** ej.  $R_2R_9R_{11}R_{23}R_{19}$
- Cualquier estructura de datos

- El evaluador decodifica los cromosomas y le asigna una medida de acondicionamiento.
- La medición de evaluación representa la relación entre el GA y su resolución. Normalmente en los problemas típicos de optimización, la evaluación corresponde a la función objetivo.
- Ejemplo:  $f(\mathbf{x}) = e^{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5}$

# Cruce

El cruce acelera la búsqueda temprana hacia la evolución de la población

**Ejemplo:**  $P_1$  y  $P_2$  son los padres ;  $h_1$  y  $h_2$  los hijos

$$P_1: (1 \ 1 \ 1 \ \mathbf{0} \ 1 \ 0 \ 1 \ 0) \quad h_1: (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1)$$

$$P_2: (0 \ 1 \ 0 \ \mathbf{1} \ 1 \ 1 \ 0 \ 1) \quad h_2: (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$$



# Mutación

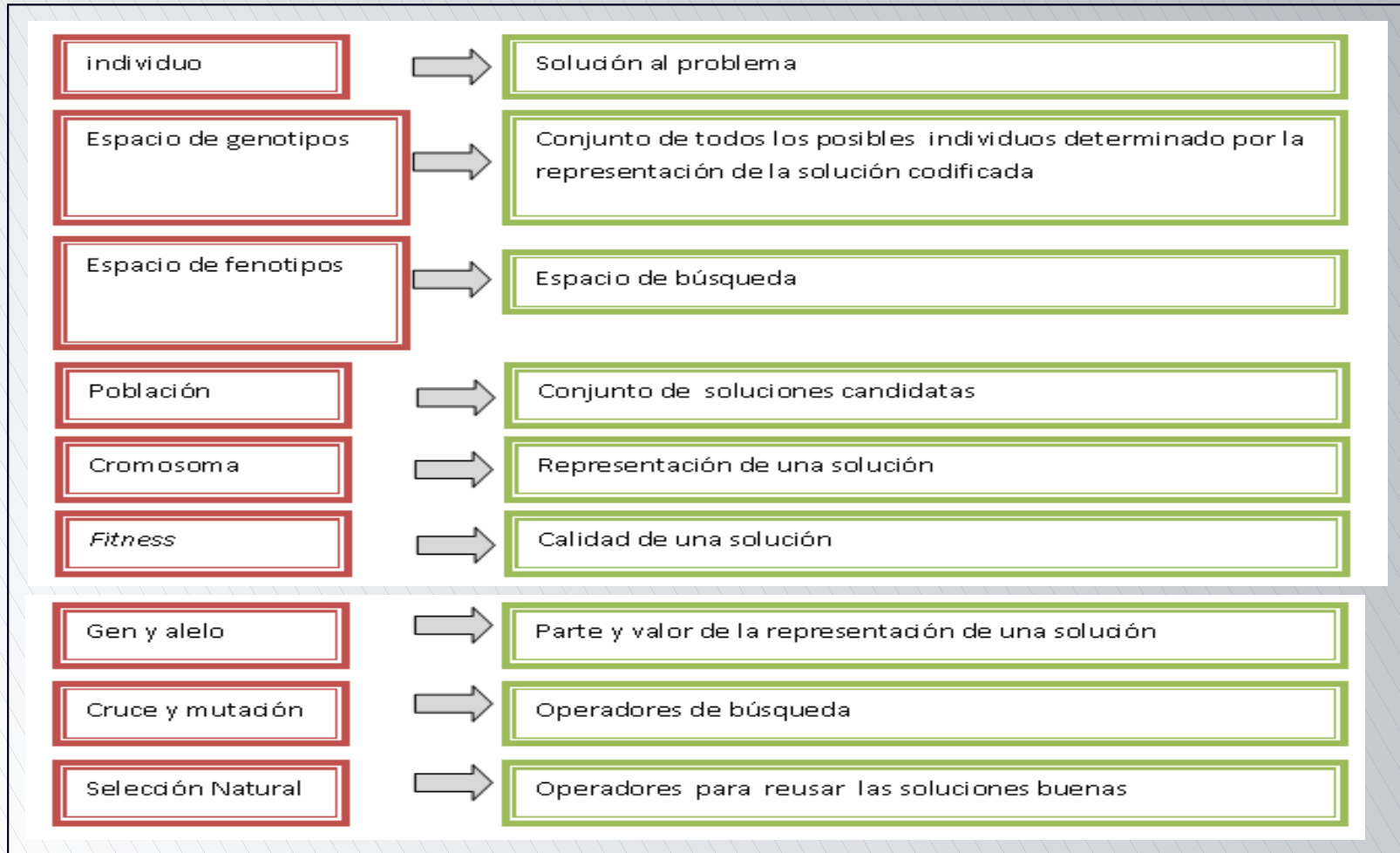
Eventualmente el material genético cambia ligeramente. Esto significa que un hijo puede tener información genética no heredada de los padres.

## Ejemplo:

antes:                   **(1.05,3.45,5.09,7.32)**

después:               **(1.05,3.45,5.01,7.32)**

# GA: Resumen de términos



# Tipos de Operadores

**Operadores de Selección:** Son los mecanismos que se emplean para seleccionar los padres en cada generación. Los métodos más comunes son: Método de la Ruleta o Método Proporcional, el Método del Torneo y el Método de Escalamiento por Rango( *Ranking*).

**Operadores de Variación:** Son los mecanismos que se aplican para recombinar( o cruzar) y para generar mutaciones en los individuos. El operador de recombinación o cruce actúa sobre dos o más individuos seleccionados, para dar origen a uno o más individuos.

# Método de la Ruleta

Se seleccionan ambos padres al azar, de acuerdo a alguna distribución de probabilidad, obtenida sobre la base de la mejor adaptación de los individuos. A cada individuo le corresponde un sector de la ruleta. Funciona sobre la base del principio: “Los mejor adaptados tienen más posibilidad de ser seleccionados, pero no todos participan

en la selección”.



# Método de Selección por Torneo

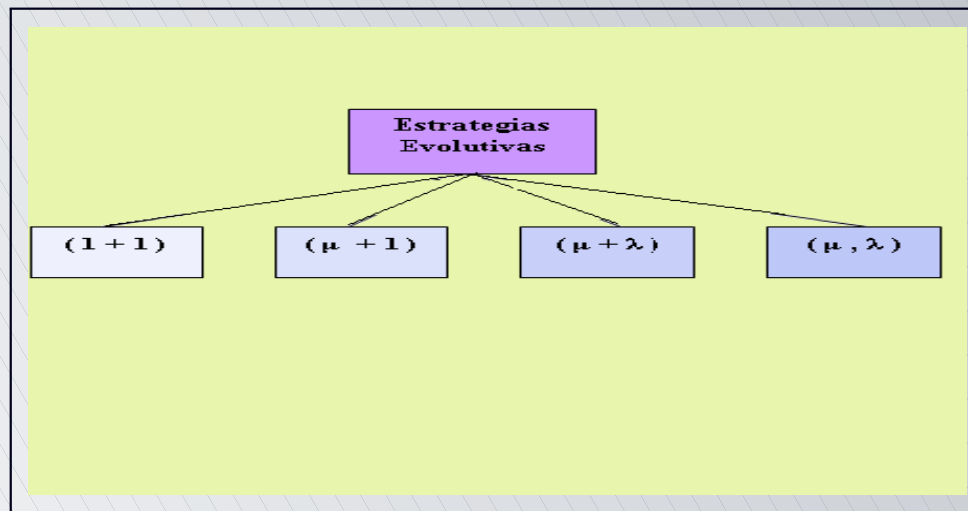
Consiste en la selección de un grupo de  $q$  individuos de la población al azar, con o sin reemplazo. Este grupo de individuos seleccionados formará parte del torneo. El mejor individuo seleccionado es el que tiene mejor *fitness*



Son técnicas de optimización muy rápidas.

- Fueron creadas por Rechenberg y Schwefel en la década de los 70, para resolver un problema de mecánica de fluidos.
- Originalmente se emplearon en la optimización de funciones en valores reales.

## Tipos a tratar



# Estrategias Evolutivas (1 + 1):

- En  $t = 0$  se genera un individuo al azar.
- Se aplica el operador mutación al individuo obtenido.
- De los dos individuos ( el original y el mutado) se selecciona el que tenga mejor evaluación.
- El proceso continúa hasta que se satisfaga la condición de terminación.
- El último individuo obtenido es el que tiene *mejor adaptación* y es la solución del problema



## Estrategias Evolutivas ( $\mu + 1$ )

- En  $t = 0$  se genera una población de  $\mu$  individuos al azar ( $\mu > 1$ ).
- Se seleccionan al azar 2 individuos de la población.
- Se aplica el operador recombinación entre los 2 individuos.
- Se aplica el operador selección para eliminar entre los  $\mu + 1$  individuos el que tenga peor evaluación.
- El proceso continúa hasta que se satisfaga la condición de terminación.
- El mejor individuo representa la solución.

## Estrategias Evolutivas ( $\mu + \lambda$ )

- En  $t = 0$  se genera una población de  $\mu$  individuos al azar ( $\mu > \lambda$ ).
- Se generan  $\lambda$  individuos a partir de los  $\mu$  iniciales, empleando recombinación.
- Se aplica el operador selección para eliminar los  $\lambda$  peores individuos según su evaluación.
- El proceso continúa hasta que se satisfaga la condición de terminación.
- El mejor individuo representa la solución.

## Estrategias Evolutivas ( $\mu, \lambda$ )

Es una modificación de la estrategia ( $\mu + \lambda$ )

- Se parte de una población de  $\mu > \lambda$  individuos al azar.
- Se generan  $\lambda$  individuos a partir de los  $\mu$  iniciales, empleando recombinación.
- Los  $\lambda$  individuos nuevos son mutados.
- Se aplica un operador de selección para eliminar los  $\lambda$  peores individuos.
- El proceso continúa hasta que se satisfaga la condición de terminación.
- El mejor individuo representa la solución.

## Resumen: Tipos de Estrategias Evolutivas

$\mu$ : Número de individuos de la población.  $\lambda$  individuos adicionales.

$(1 + 1) - ES$  es una estrategia evolutiva de dos miembros.

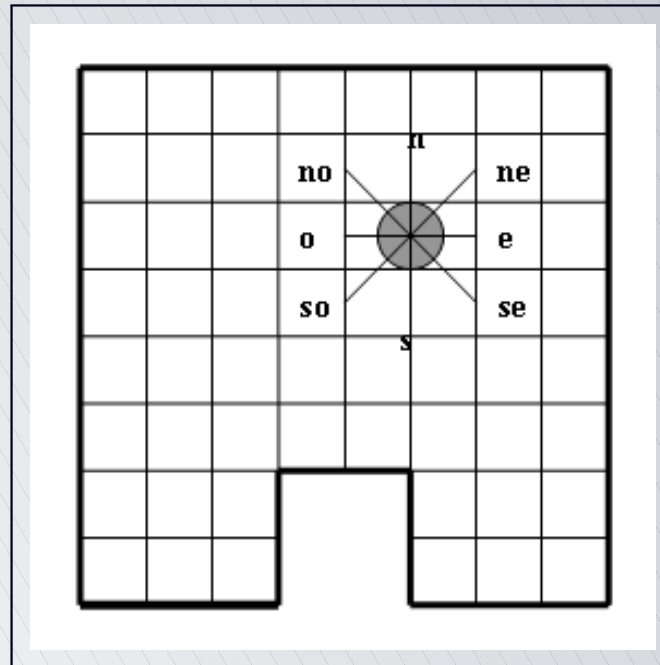
$(\mu + 1)$ ,  $(\mu + \lambda)$  y  $(\mu, \lambda)$  son estrategias evolutivas de múltiples miembros.

- La **Programación Genética**(GP, *Genetic Programming*) es una técnica desarrollada por John Koza, a finales de la década de los ochenta.
- El objetivo era crear una generación automática de programas.
- Se crea inicialmente una población de individuos.
- Los individuos son programas que evolucionan
- Se emplean operadores de variación y selección para obtener nuevos individuos.
- Los programas se expresan mediante árboles.

# Ejemplo de Programación Genética

## Un Robot en un mundo cuadrado ( N. Nilsson, ver bibliografía)

Sea un robot ubicado en un recinto como el que se muestra en la figura. Se señalan las posibles acciones.



# Ejemplo de Programación Genética

El objetivo es desarrollar un programa que haga que el robot se mueva, desde alguna posición inicial hasta una celda contigua a la pared, para continuar paralelo a la pared a lo largo del recinto. Las funciones primitivas son las siguientes:

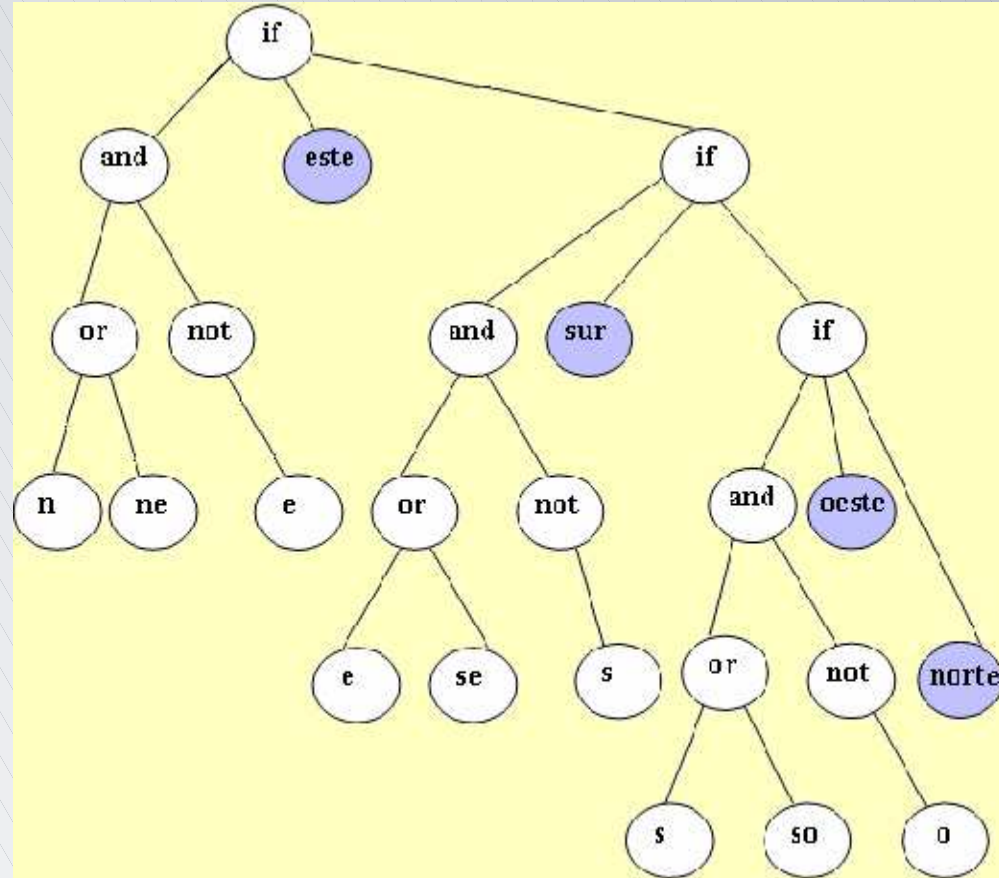
- $\text{and}(x,y) = 0$  si  $x = 0$ ; si no,  $y$
- $\text{or}(x,y) = 1$  si  $x = 1$ ; si no,  $y$
- $\text{not}(x) = 0$  si  $x = 1$ ; si no,  $1$
- $\text{if}(x,y,z) = y$  si  $x = 1$ ; si no  $z$

# Ejemplo de Programación Genética

- Las entradas sensoriales asociadas al robot son: n, ne, e, se, s, so, o y no. Estas toman un valor 0 siempre que la celda correspondiente pueda ser ocupada por el robot, en caso contrario toman el valor 1.
- Se debe asegurar que todas las expresiones y sub-expresiones usadas sean correctas, y por lo tanto se puedan evaluar.
- En la siguiente figura se observa un programa, el cual ejecutado ocasiona que el robot se mueva hacia el norte hasta que encuentre la pared. El movimiento siempre será en el sentido de las agujas del reloj.



# Ejemplo de Programación Genética



```
if(and(or(n, ne),not(e)),(este), if(and(or(e, se)), not(s), (sur),  
if(and (or (s, so), not(o)), (oeste), (norte) ) ) )
```

# Ejemplo de Programación Genética

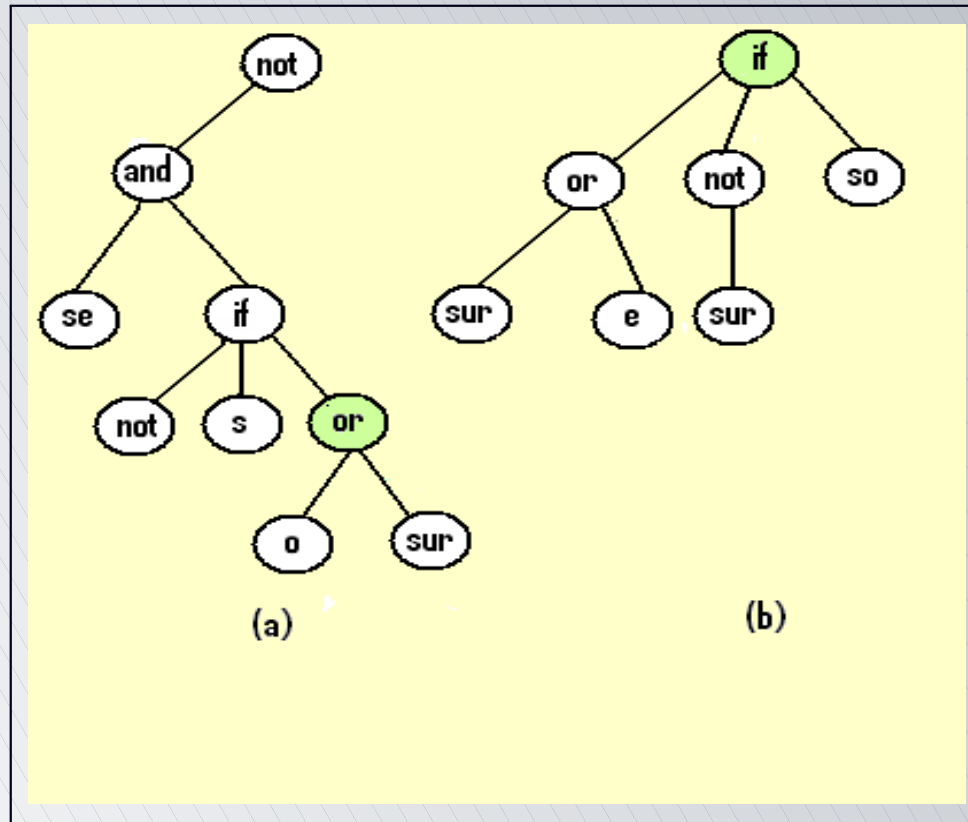
- Se crea una población inicial de 5.000 programas al azar.
- Cada programa debe hacer que el robot se mueva en alguna dirección.
- Cada programa( individuo) es evaluado. Para ello se ejecuta 10 veces. Cuando el robot no se desplaza adherido a la pared se obtiene una puntuación de cero.
- Se suman todos los desplazamientos en las 10 ejecuciones. El valor máximo posible es 320( $8 \times 4 \times 10$ )
- Se seleccionan los programas que tienen mejor evaluación.

# Ejemplo de Programación Genética

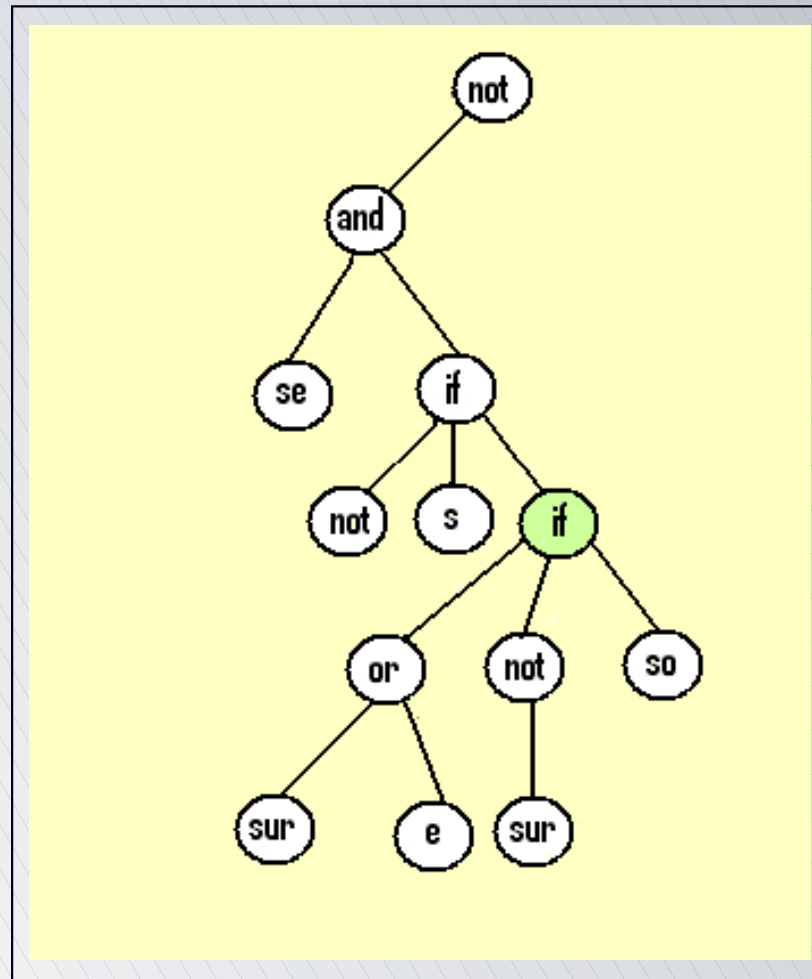
- Se selecciona un 10 % de los individuos, empleando la selección por **torneo** con reemplazo.
- Se generan 4.500 hijos, empleando cruces.
- Eventualmente se aplican mutaciones.
- Luego de cierto número de iteraciones( generaciones), se observa que los individuos tienen mejor adaptación, hasta obtener la solución deseada.

# Ejemplo de Programación Genética

## Dos individuos a cruzar



## Resultado del cruce



Resultado:

Una vez obtenidas 10 generaciones, se logró un programa( individuo) que sigue perfectamente las paredes del recinto.

Los algoritmos evolutivos se han aplicado en la resolución de una gran variedad de problemas. Los **Algoritmos Genéticos** y las **Estrategias Evolutivas** se han aplicado en la resolución de problemas de optimización.

Por otra parte, la **Programación Genética** se ha empleado, con mucho éxito en problemas de la Inteligencia Artificial, como operación de robots especializados, mundo de bloques y en el diseño de filtros electrónicos, amplificadores y circuitos.