

# Introducción a la Computación Evolutiva

Carlos A. Coello Coello

*carlos.coellocoello@ccinvestav.mx*

CINVESTAV-IPN

Evolutionary Computation Group (EVOCINV)

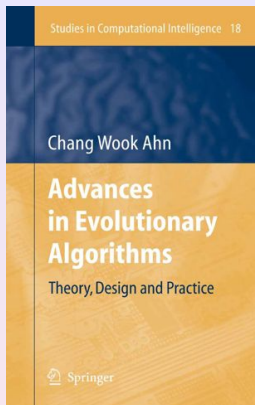
Departamento de Computación

Av. IPN No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco

México, D.F. 07360, MEXICO

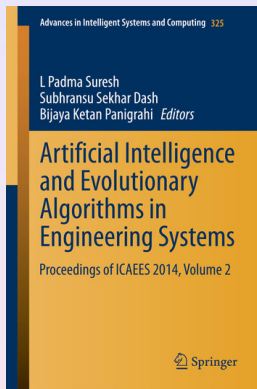
## Clase 3

# Críticas a los Algoritmos Evolutivos



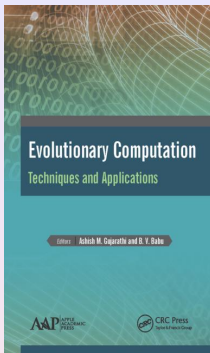
Algunos algoritmos evolutivos fueron muy criticados en sus orígenes (los 1960s) por los investigadores de la IA simbólica. Se creía que una simple búsqueda aleatoria podía superarlas.

# Críticas a los Algoritmos Evolutivos



Sin embargo, con el paso de los años, los algoritmos evolutivos lograron resolver al menos uno de los problemas originales de la Inteligencia Artificial clásica: la evolución de programas de computadora (usando la Programación Genética).

# Críticas a los Algoritmos Evolutivos

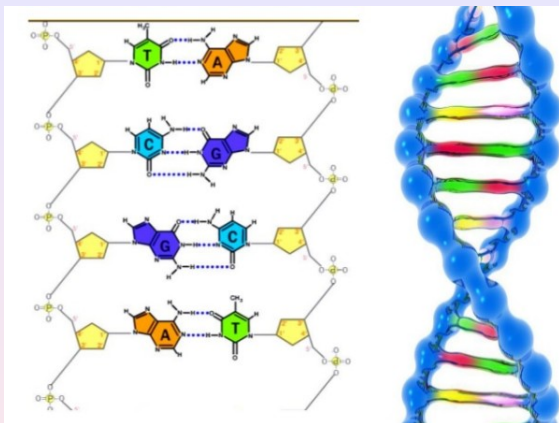


En la actualidad, varios tipos de algoritmos evolutivos son considerados como métodos de búsqueda directa, que son una herramienta muy poderosa para resolver problemas de optimización de alta complejidad.



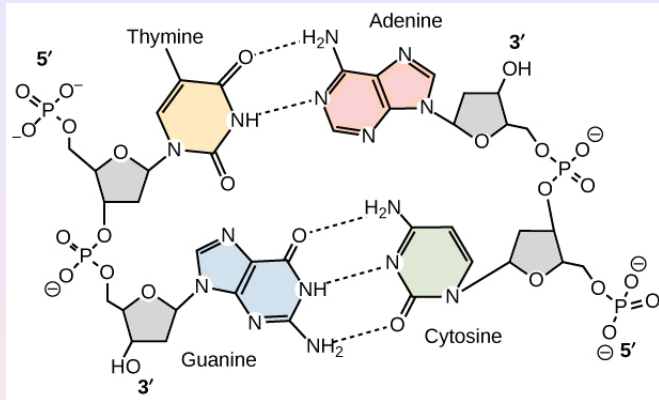
El **Acido Desoxirribonucleico** (ADN) es el material genético fundamental de todos los organismos vivos.

# Conceptos Biológicos



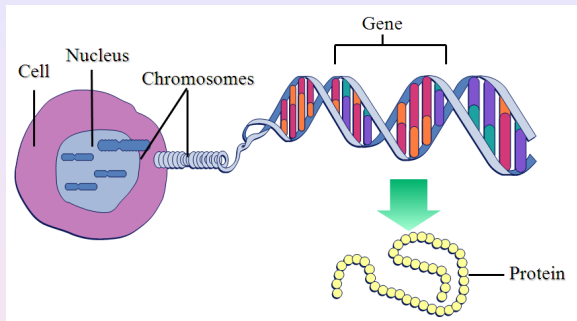
El ADN es una macro-molécula doblemente trenzada que tiene una estructura helicoidal. Ambos filamentos trenzados son moléculas de ácido nucleico lineales y sin ramificaciones, formadas de moléculas alternadas de desoxirribosa (azúcar) y fosfato.

# Conceptos Biológicos



Las 4 bases de nucleótido son: Adenina (**A**), Timina (**T**), Citosina (**C**) y Guanina (**G**) y constituyen el alfabeto de información genética. Las secuencias de estas bases en la molécula de ADN determinan el plan constructor de cualquier organismo.

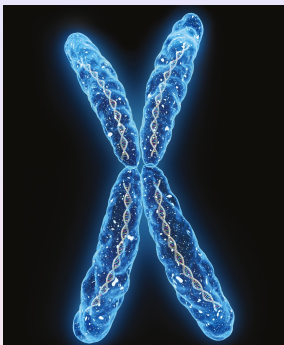
# Conceptos Biológicos



Un **gene** es una sección de ADN que codifica una cierta función bioquímica definida (usualmente la producción de una proteína). Es fundamentalmente una unidad de herencia.

El **ADN** de un organismo puede contener desde una docena de genes (como un virus), hasta decenas de miles (como los humanos).

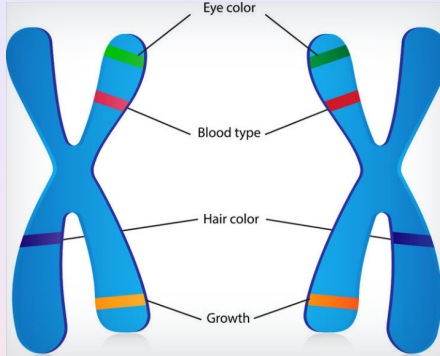




Se denomina **cromosoma** a una de las cadenas de ADN que se encuentra en el núcleo de las células.

Los cromosomas son responsables de la transmisión de información genética.

# Conceptos Biológicos



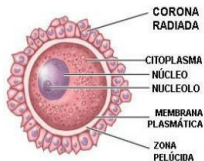
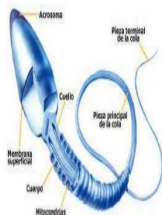
Cada gene es capaz de ocupar sólo una región en particular de un cromosoma (su “lugar” o “locus”).

En cada determinado lugar pueden existir, en la población, formas alternativas del gene. A estas formas alternativas se les llama **alelos**.



Se llama **genoma** a la colección total de genes (y por tanto, cromosomas) que posee un organismo.

## GAMETO MASCULINO Y FEMENINO



Se denominan **Gametos** a las células que llevan información genética de los padres con el propósito de efectuar reproducción sexual. En los animales, se denomina **esperma** a los gametos masculinos y **óvulos** a los gametos femeninos.



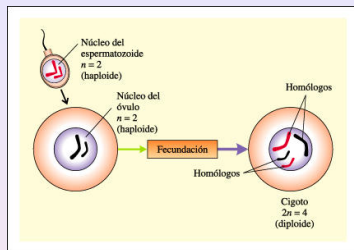
Se denomina **haploide** a la célula que contiene un solo cromosoma o conjunto de cromosomas, cada uno de los cuales consiste de una sola secuencia de genes. Las células haploides no se dividen. Se originan a partir de las células diploides.



Célula diploide

Se denomina **diploide** a una célula que contiene 2 copias de cada cromosoma. Las copias son homólogas, es decir, contienen los mismos genes en la misma secuencia.

# Conceptos Biológicos



En muchas especies que se reproducen sexualmente, los genes en uno de los conjuntos de cromosomas de una célula diploide se heredan del gameto del padre, mientras que los genes del otro conjunto son del gameto de la madre.

La **meiosis** es un proceso de división celular en el cual una célula diploide experimenta dos divisiones sucesivas, con la capacidad de generar cuatro células haploides.



Se denomina **individuo** a un solo miembro de una población.

Se denomina **población** a un grupo de individuos que pueden interactuar juntos, por ejemplo, para reproducirse.



# Conceptos Biológicos



Se denomina **fenotipo** a los rasgos (observables) específicos de un individuo.

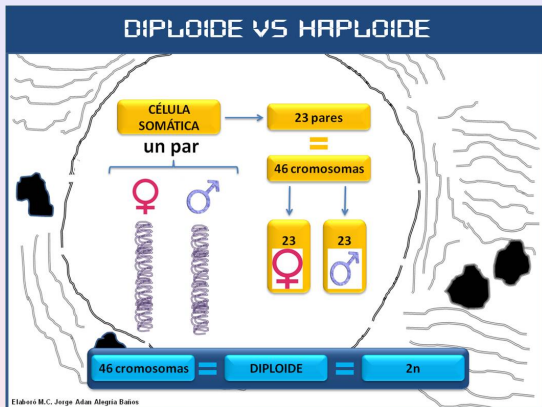


Se denomina **genotipo** a la composición genética de un organismo (la información contenida en el genoma). Es decir, es lo que potencialmente puede llegar a ser un individuo.

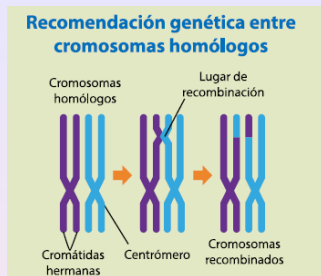
## Diferencias Entre Genotipo y Fenotipo



El **genotipo** da origen, tras el desarrollo fetal y posterior, al **fenotipo** del organismo.



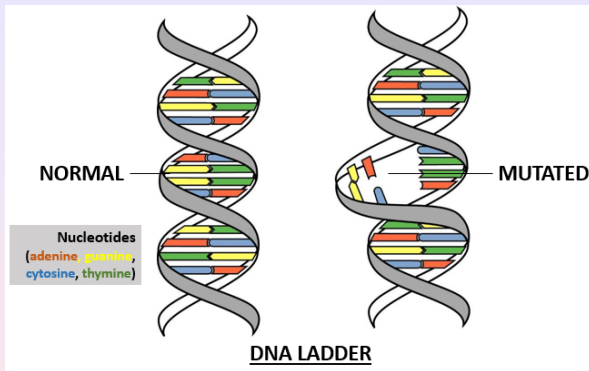
En la Naturaleza, la mayoría de las especies capaces de reproducirse sexualmente tienen cromosomas **diploides**.



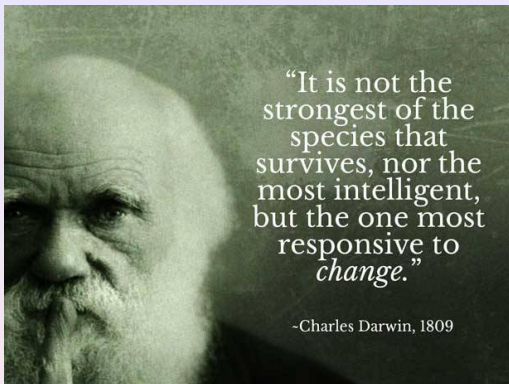
Durante la reproducción sexual ocurre la recombinación (o cruza), de la cual hay dos casos:

- (a) **Caso Haploide:** Se intercambian los genes entre los cromosomas (haploides) de los dos padres.
- (b) **Caso Diploide:** En cada padre, se intercambian los genes entre cada par de cromosomas para formar un gameto, y posteriormente los gametos de los 2 padres se aparean para formar un solo conjunto de cromosomas diploides.

# Conceptos Biológicos



Durante la **mutación**, se cambian nucleótidos individuales de padre a hijo. La mayoría de estos cambios se producen por errores de copiado.



La **aptitud** de un individuo se define como la probabilidad de que éste viva para reproducirse (**viabilidad**), o como una función del número de descendientes que éste tiene (**fertilidad**).

# Conceptos Biológicos



Se denomina **ambiente** a todo aquello que rodea a un organismo. Un ambiente puede ser “físico” (abiótico) o biótico. En ambos casos, el organismo ocupa un **nicho** que ejerce una influencia sobre su aptitud dentro del ambiente total.



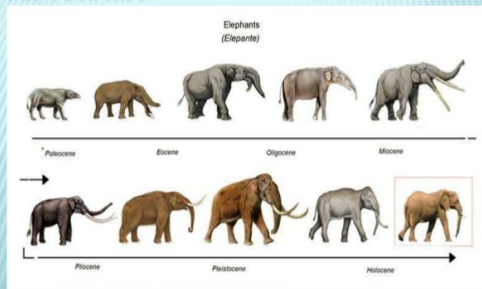


Un **ambiente biótico** puede presentar funciones de aptitud dependientes de la frecuencia dentro de una población. En otras palabras, la aptitud del comportamiento de un organismo depende de cuántos más estén comportándose igual.



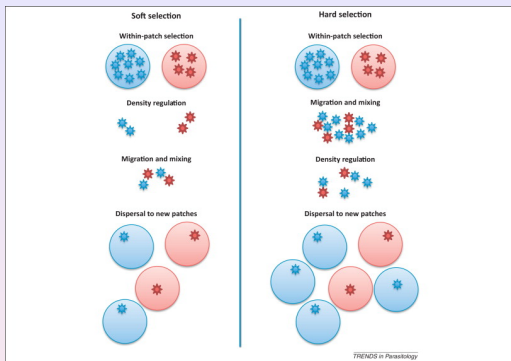
A través de varias generaciones, los ambientes bióticos pueden fomentar la **co-evolución**, en la cual la aptitud se determina mediante la selección parcial de otras especies.

## LA SELECCIÓN NATURAL Y LA EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES



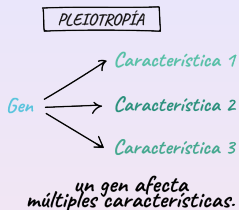
La **selección** es el proceso mediante el cual algunos individuos en una población son elegidos para reproducirse, típicamente con base en su aptitud.

# Conceptos Biológicos



La **selección dura** se da cuando sólo los mejores individuos se mantienen para generar progenia futura.

La **selección blanda** se da cuando se usan mecanismos probabilísticos para mantener como padres a individuos que tengan aptitudes relativamente bajas.



Se llama **pleiotropía** al efecto en el cual un solo gene puede afectar simultáneamente a varios rasgos fenotípicos.

Un ejemplo de pleiotropía es un problema con la célula responsable de formar la hemoglobina. Al fallar, se afecta la circulación sanguínea, las funciones del hígado y las acciones capilares.

## Herencia poligénica

A: piel oscura

a: piel clara

B: piel oscura

b: piel clara

$A > a$

$B > b$

Progenitores (P)	Aa Bb 		x	Aa Bb 	
Gametos	AB Ab aB ab			AB Ab aB ab	
Descendencia (F <sub>1</sub> )	1 AABB	2 AaBB	4 AaBb	2 Aabb	1 aabb
	2 AABb	1 AAbb	2 aaBb		
		1 aaBB			
Fenotipo					
nº de alelos dominantes	4	3	2	1	0

















Cuando una sola característica fenotípica de un individuo puede ser determinada mediante la interacción simultánea de varios genes, se denomina al efecto: **poligenia**.

El color del cabello y de la piel son generalmente rasgos poligénicos.



Aunque no existe una definición universalmente aceptada de **especie**, diremos que es una colección de criaturas vivientes que tienen características similares, y que se pueden reproducir entre sí. Los miembros de una especie ocupan el mismo **nicho ecológico**.

# Conceptos Biológicos

	Alopátrica	Peripátrica	Parapátrica	Simpátrica
Población original				
Etapa inicial de la especiación	 Formación de barrera	 Nuevo nicho ocupado	 Nuevo nicho ocupado	 Polimorfismo genético
Evolución por aislamiento reproductor	 Aislamiento	 Nicho aislado	 Nicho adjacente	 En el mismo área
Formación de nuevas especies				

Se denomina **especiación** al proceso mediante el cual aparece una especie. La causa más común de especiación es el aislamiento geográfico.

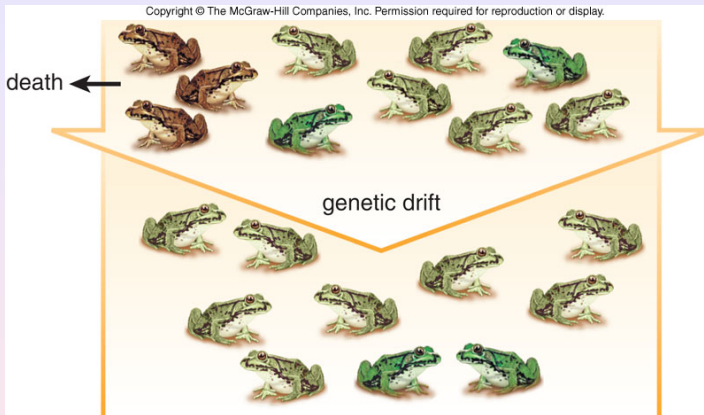


## Especiación debida al aislamiento geográfico



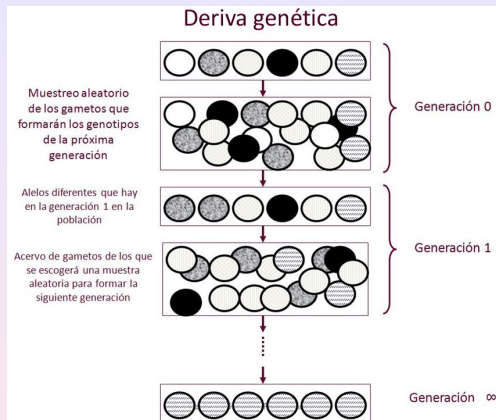
Si una subpoblación de una cierta especie se separa geográficamente de la población principal durante un tiempo suficientemente largo, sus genes divergirán.

# Conceptos Biológicos



Estas divergencias se deben a diferencias en la presión de selección en diferentes lugares, o al fenómeno conocido como **deriva genética**.

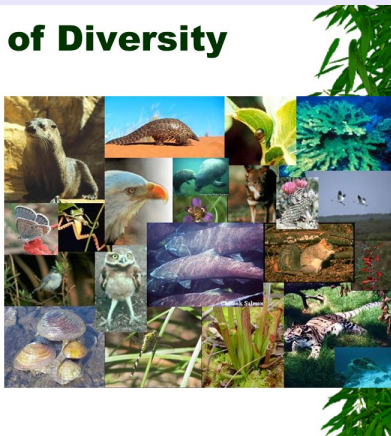
# Conceptos Biológicos



Se llama **deriva genética** a los cambios en las frecuencias de los alelos en una población con el paso de muchas generaciones, como resultado del azar en vez de la selección.

## Loss of Diversity

- ☞ Threatened Species
- ☞ Endangered Species
- ☞ Extinction of Species



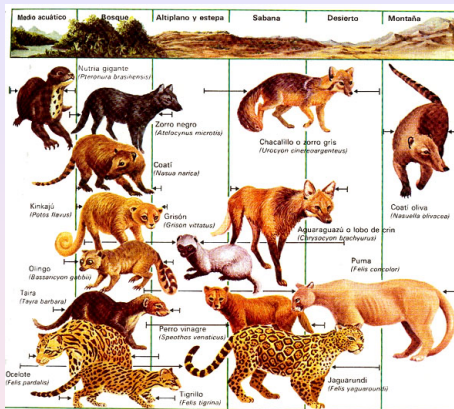
La **deriva genética** ocurre más rápidamente en poblaciones pequeñas y su mayor peligro es que puede conducir a que algunos alelos se extingan, reduciendo en consecuencia la variabilidad (o diversidad) de la población.

## Nicho Ecológico



En los ecosistemas naturales, hay muchas formas diferentes en las que los animales pueden sobrevivir (en los árboles, de la cacería, en la tierra, etc.) y cada estrategia de supervivencia es denominada **nicho ecológico**.

# Conceptos Biológicos

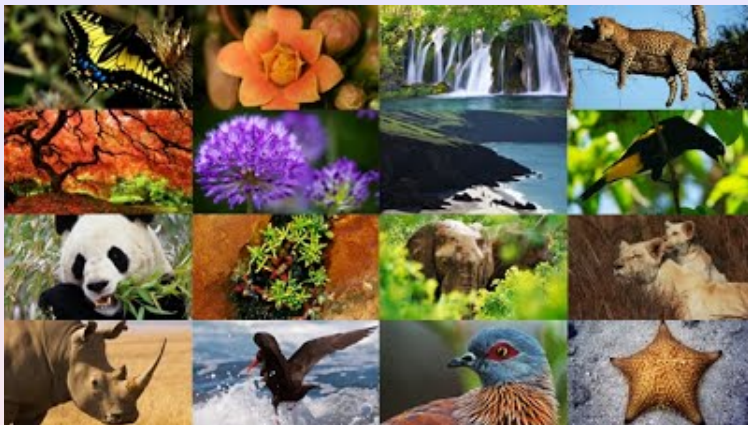


Dos especies que ocupan nichos diferentes (p.ej. una que se alimenta de plantas y otra que se alimenta de insectos) pueden coexistir entre ellas sin competir, de una manera estable.



Sin embargo, si dos especies que ocupan el mismo nicho se llevan a la misma zona, habrá competencia, y a la larga, la especie más débil se extinguirá (localmente).

# Conceptos Biológicos



Por lo tanto, la diversidad de las especies depende de que ocupen una diversidad de nichos (o de que estén separadas geográficamente).





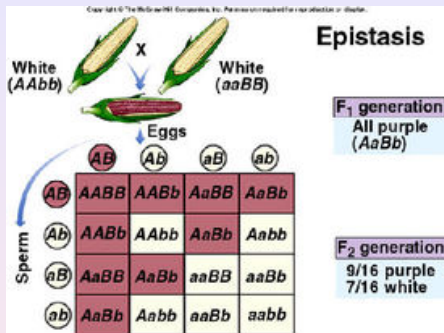
Se denomina **reproducción** a la creación de un nuevo individuo a partir de:

- (a) 2 progenitores (sexual)
- (b) 1 progenitor (asexual)



Se denomina **migración** a la transferencia de (los genes de) un individuo de una subpoblación a otra.

# Conceptos Biológicos



Se dice que un **gene** es **epistático** cuando su presencia suprime el efecto de un gene que se encuentra en otra posición.

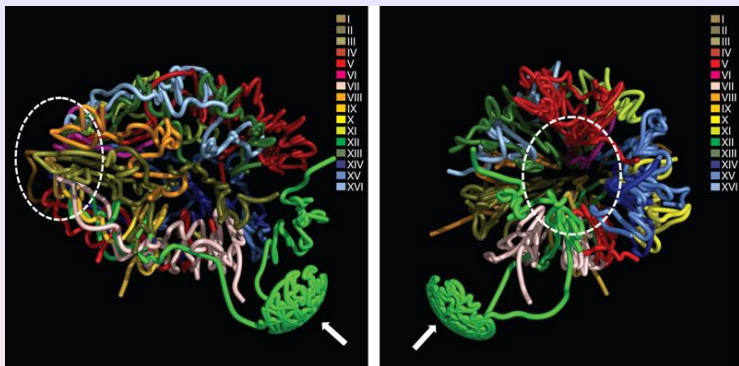
Los **genes epistáticos** son llamados algunas veces genes de inhibición por el efecto que producen sobre otros genes.



Atmar [1994] consideraba que existen 3 tipos distintos de inteligencia en los seres vivos:

- (a) Filogenética
- (b) Ontogenética
- (c) Sociogenética

Wirt Atmar, “**Notes on the Simulation of Evolution**”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 5, No. 1, pp. 130–148, January 1994.



## Inteligencia Filogenética

El aprendizaje se efectúa en este caso a nivel de las especies. La unidad de mutabilidad es un solo par base nucleótido, y el acervo de la inteligencia es el genoma de la especie.



## Inteligencia Ontogenética

En este caso, el aprendizaje se efectúa a nivel del individuo. La unidad de mutabilidad (o cambio) es la propensión de una neurona para dispararse y la sensibilidad del sitio receptor de dicha neurona. El acervo de este tipo de inteligencia es la memoria neuronal y hormonal (a la supuesta ruta de conexiones neuronales aprendidas se le llama “engrama”).

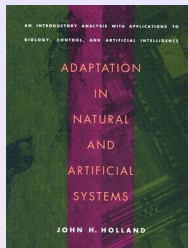
## Inteligencia colectiva



### Inteligencia Sociogenética

En este caso, el aprendizaje se efectúa a nivel del grupo. La unidad de mutabilidad es la “idea”, o la experiencia compartida y el acervo de este tipo de inteligencia es la cultura.

# Funcionamiento Básico de un Algoritmo Genético



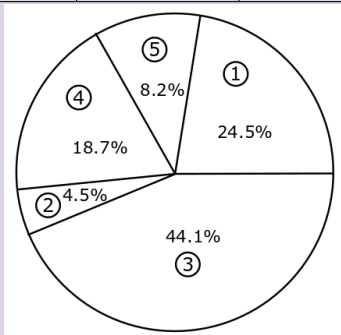
- 1 Generar (aleatoriamente) una población inicial
- 2 Calcular la aptitud de cada individuo
- 3 Seleccionar (probabilísticamente) con base en aptitud
- 4 Aplicar operadores genéticos (cruza y mutación) para generar la siguiente población
- 5 Repetir los pasos 2 a 4 hasta que cierta condición de paro se satisfaga



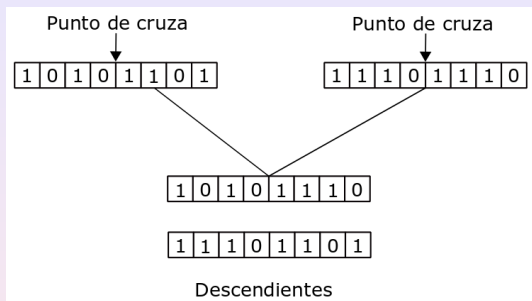


## Selección Proporcional (Ruleta)

Cromosoma Núm.	Cadena	Aptitud	% del Total
1	11010110	254	24.5
2	10100111	47	4.5
3	00110110	457	44.1
4	01110010	194	18.7
5	11110010	85	8.2
Total		1037	100.0



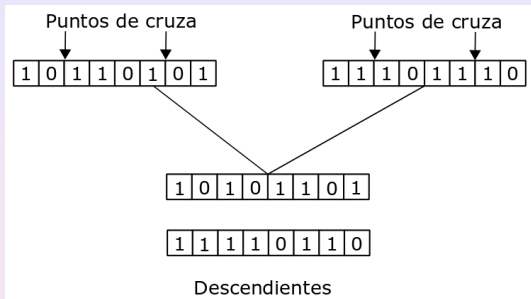
# Funcionamiento Básico de un Algoritmo Genético



## Cruza de Un Punto

Uso de un solo punto de cruza entre 2 individuos. Observe que cada pareja de cromosomas da origen a 2 descendientes para la siguiente generación.

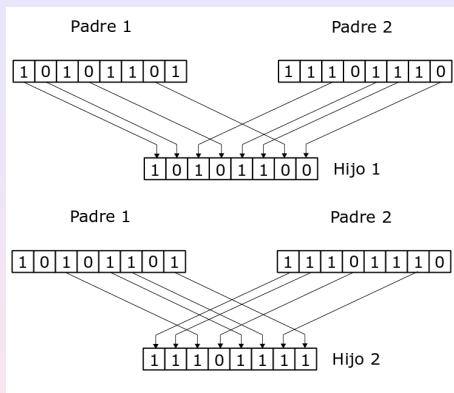
# Funcionamiento Básico de un Algoritmo Genético



## Cruza de Dos Puntos

Uso de 2 puntos de cruce entre 2 individuos. Note como en este caso se mantienen los genes de los extremos, y se intercambian los del centro.

# Funcionamiento Básico de un Algoritmo Genético



## Cruza Uniforme

Cruza Uniforme con probabilidad de 0.5. Nótese cómo la mitad de los genes de cada hijo proviene de cada uno de sus padres. La idea de este algoritmo es ir eligiendo, posición por posición, el padre que aportará un gen a cada hijo, usando la probabilidad definida por el usuario.

# Funcionamiento Básico de un Algoritmo Genético

1	0	1	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Cadena original

Mutar posición 6



1	0	1	1	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Cadena mutada

## Mutación

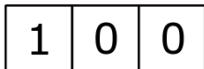
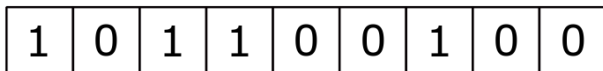
Consiste en cambiar aleatoriamente una o más posiciones de un hijo (es decir, de un individuo que se produjo mediante la cruce).

# Conceptos de Computación Evolutiva

1	0	1	1	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Denominamos **cromosoma** a una estructura de datos que contiene una cadena de parámetros de diseño (o sea, las variables del problema).

Esta estructura de datos puede almacenarse, por ejemplo, como una cadena de bits o un arreglo de enteros.



Se llama **gene** a una subsección de un cromosoma que (usualmente) codifica el valor de un solo parámetro.

# Conceptos de Computación Evolutiva

1	0	1	1	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Se denomina **genotipo** a la codificación (por ejemplo, binaria) de los parámetros que representan una solución del problema a resolverse.

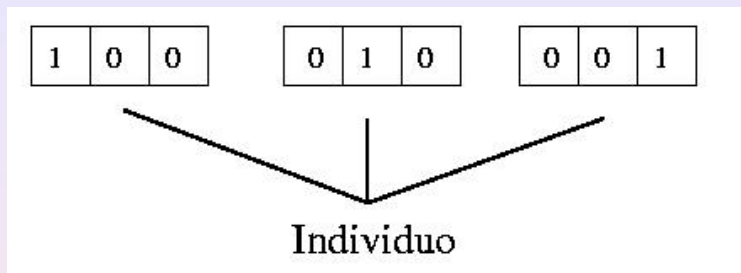


# Conceptos de Computación Evolutiva



Se denomina **fenotipo** a la decodificación del cromosoma. Es decir, a los valores obtenidos al pasar de la representación (binaria) a la usada por la función objetivo.

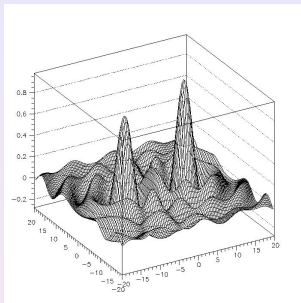
# Conceptos de Computación Evolutiva



Se denomina **individuo** a un solo miembro de la población de soluciones potenciales a un problema.

Cada individuo contiene un cromosoma (o de manera más general, un genoma) que representa una solución posible al problema a resolverse.

# Conceptos de Computación Evolutiva

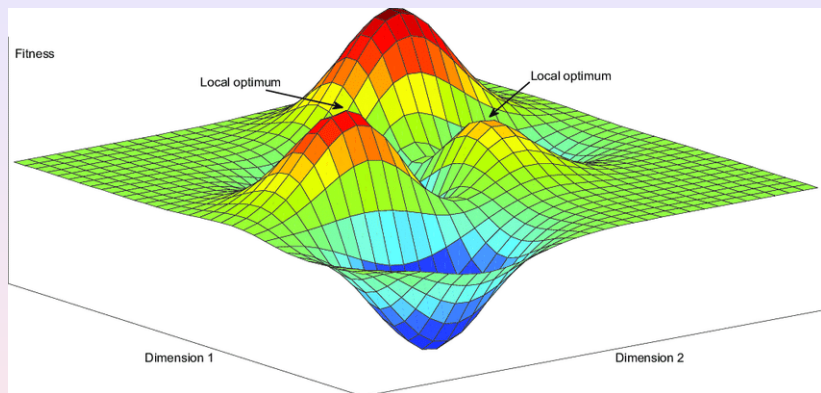


Se denomina **aptitud** al valor que se asigna a cada individuo y que indica qué tan bueno es éste con respecto a los demás para la solución de un problema.

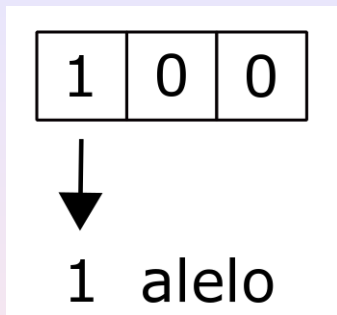
Por ejemplo:

$$\text{Si } f(x) = x^2 \text{ entonces } f(1010_2) = 100$$

# Conceptos de Computación Evolutiva



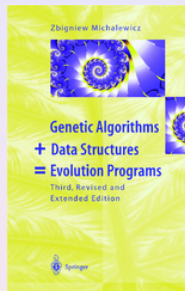
Se llama **paisaje de aptitud** (*fitness landscape*) a la hipersuperficie que se obtiene al aplicar la función de aptitud a cada punto del espacio de búsqueda.



Se denomina **alelo** a cada valor posible que puede adquirir una cierta posición genética.

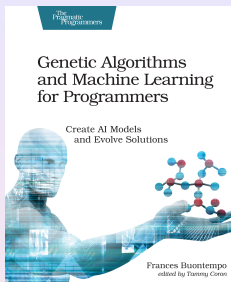
Si se usa representación binaria, un alelo puede tomar un valor de 0 ó 1.

# Conceptos de Computación Evolutiva



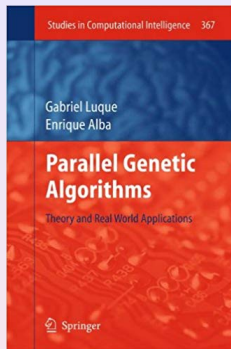
Llamamos **generación** a una iteración de la medida de aptitud y a la creación de una nueva población por medio de operadores de reproducción.

# Conceptos de Computación Evolutiva



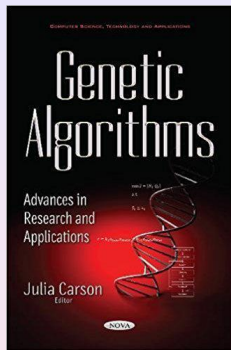
Una población puede subdividirse en grupos a los que se denomina subpoblaciones.

Normalmente, sólo pueden cruzarse entre sí los individuos que pertenezcan a la misma subpoblación.



En los esquemas con subpoblaciones, suele permitirse la **migración** de una subpoblación a otra (sobre todo en el contexto de los algoritmos genéticos paralelos).





El hecho de permitir la cruce sólo entre individuos de la misma subpoblación se le llama **especiación** en una emulación del fenómeno natural del mismo nombre.

# Conceptos de Computación Evolutiva

0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---

1	0	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---

0	0	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---

1	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---

Subpoblación 1

→  
Migración

--	--	--	--	--	--

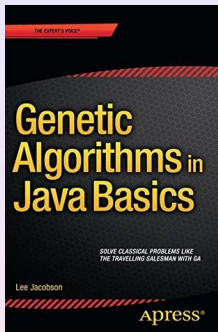
0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---

1	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---

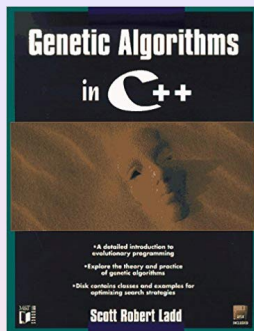
0	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---

Subpoblación 2

Se llama **migración** a la transferencia de (los genes de) un individuo de una subpoblación a otra.



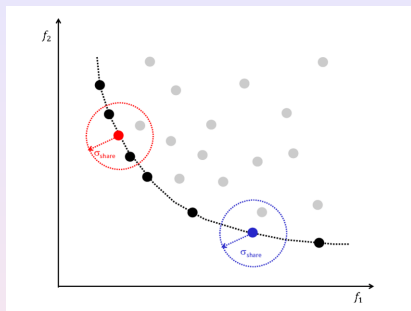
Hay un tipo de población usada en computación evolutiva en la que cualquier individuo puede reproducirse con otro con una probabilidad que depende sólo de su aptitud. Se le llama **población panmítica**.



Lo opuesto de la población panmítica es permitir la reproducción sólo entre individuos de la misma subpoblación.

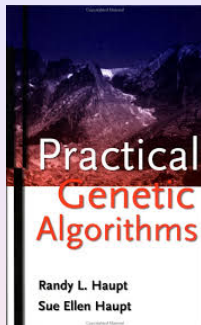
La mayor parte de los algoritmos genéticos convencionales usan poblaciones panmíticas.

# Conceptos de Computación Evolutiva

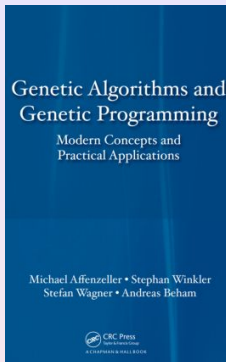


Debido a ruidos estocásticos, los algoritmos genéticos tienden a converger a una sola solución.

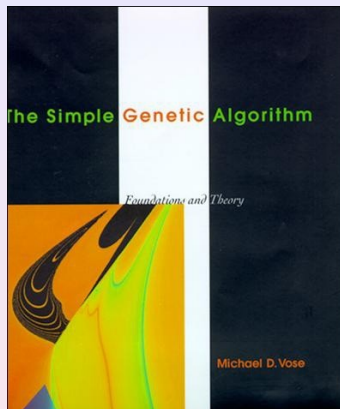
Para evitar eso, y mantener la diversidad, existen técnicas que permiten crear distintos **nichos** para los individuos.



Se llama **epístasis** a la interacción entre los diferentes genes de un cromosoma. Se refiere a la medida en que la contribución de aptitud de un gene depende de los valores de los otros genes.

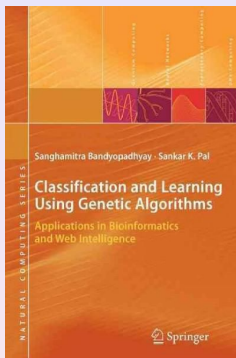


Cuando un problema tiene poca **epístasis** (o ninguna), su solución es trivial (un algoritmo escalando la colina (*hillclimber*) es suficiente para resolverlo).



Cuando un problema tiene una **epístasis** elevada, el problema será muy difícil de resolver aún para un algoritmo genético.





Se llama **bloque constructor** a un grupo pequeño y compacto de genes que han co-evolucionado de tal forma que su introducción en cualquier cromosoma tiene una alta probabilidad de incrementar su valor de aptitud.



Se llama **decepción** a la condición donde la combinación de buenos bloques constructores llevan a una reducción de aptitud, en vez de un incremento.

Este fenómeno fue sugerido originalmente por David E. Goldberg para explicar el mal desempeño de los algoritmos genéticos en algunos problemas.