Introducción a la Computación Evolutiva

Dr. Carlos A. Coello Coello

Departamento de Computación

CINVESTAV-IPN

Av. IPN No. 2508

Col. San Pedro Zacatenco

México, D.F. 07300

email: ccoello@cs.cinvestav.mx

http: //delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello

Historia de la Computación Evolutiva

R. M. Friedberg fue uno de los primeros científicos en intentar evolucionar programas de computadora (a fines de los 1950s). Sus experimentos no fueron muy exitosos, y originaron una avalancha de críticas de parte de los investigadores de la IA clásica.

Historia de la Computación Evolutiva

George J. Friedman fue tal vez el primero en proponer una aplicación de las técnicas evolutivas a la robótica: en su tesis de maestría que data de los 1950s, propuso evolucionar una serie de circuitos de control similares a las redes neuronales de hoy en día.

Historia de la Computación Evolutiva

Nils Aall Barricelli fue un matemático noruego-italiano que desarrolló las que probablemente fueron las primeras simulaciones de un sistema evolutivo en una computadora digital, entre 1953 y 1956. Sus experimentos siguieron los lineamientos de una disciplina bautizada a principios de los 1980s como **vida artificial**.

Historia de la Computación Evolutiva

Hans J. Bremermann fue tal vez el primero en ver la evolución como un proceso de optimización, además de realizar una de las primeras simulaciones con cadenas binarias que se procesaban por medio de reproducción (sexual o asexual), selección y mutación, en lo que sería otro claro predecesor del algoritmo genético.

Historia de la Computación Evolutiva

Lawrence J. Fogel concibió el uso de la evolución simulada en la solución de problemas (sobre todo de predicción) hacia mediados de los 1960s. A su técnica la denominó **Programación Evolutiva**. Fogel falleció en 2007.

Historia de la Computación Evolutiva

Ingo Rechenberg, Hans-Paul Schwefel y, más tarde, Peter Bienert, desarrollaron hacia mediados de los 1960s un método de ajustes discretos aleatorios inspirado en el mecanismo de mutación que ocurre en la naturaleza. Esta técnica se denominó **estrategias evolutivas**.

Historia de la Computación Evolutiva

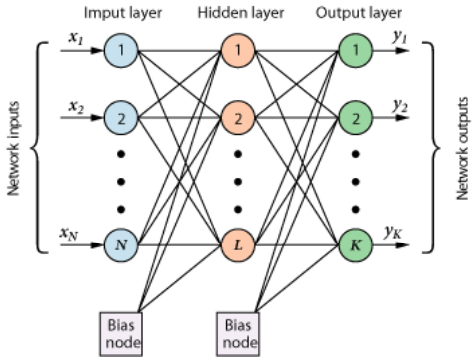
John H. Holland desarrolló a principios de los 1960s los "planes reproductivos" y "adaptativos" en un intento por hacer que las computadoras aprendan imitando el proceso de la evolución. Esta técnica sería después conocida mundialmente como el **algoritmo genético**.

Historia de la Computación Evolutiva

Michael Conrad y H. H. Pattee se cuentan entre los primeros en simular un ecosistema artificial jerárquico en el que un conjunto de organismos unicelulares estaban sujetos a una estricta ley de conservación de la materia que les inducía a competir por sobrevivir. Conrad falleció en 2000.

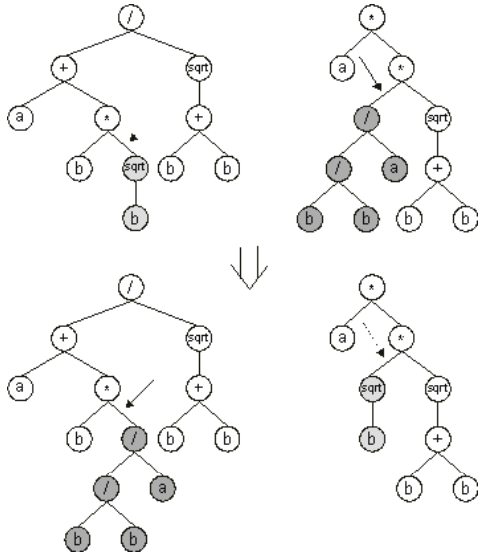
Historia de la Computación Evolutiva

Conrad propuso también en los 1970s un "modelo de circuitos de aprendizaje evolutivo" en el cual especuló sobre la posibilidad de que el cerebro use el mismo tipo de mecanismos que usa la evolución para aprender. Su técnica fue uno de los primeros intentos por utilizar algoritmos evolutivos para entrenar redes neuronales.



Historia de la Computación Evolutiva

Aunque los primeros intentos por evolucionar programas se remontan a los 1950s y 1960s, fue hasta los 1980s en que se obtuvieron resultados satisfactorios. J.F. Hicklin (1986) y C. Fujiki (1986) usaron expresiones-S en LISP para representar programas cuyo objetivo era resolver problemas de teoría de juegos.



Historia de la Computación Evolutiva

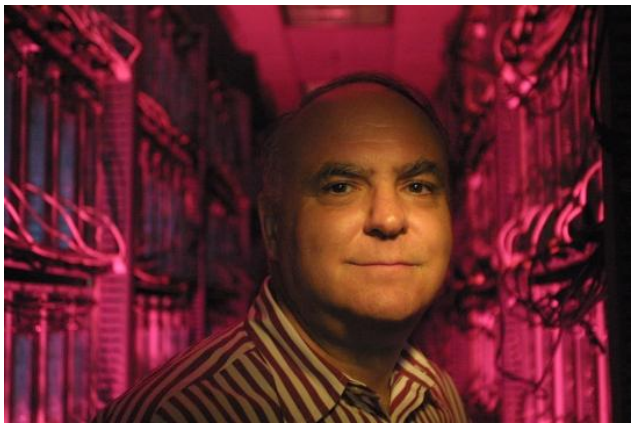
Nichael Lynn Cramer (1985) y posteriormente, John R. Koza (1989) propusieron (de forma independiente) el uso de una representación de árbol en la que se implementó un operador de cruza para intercambiar sub-árboles entre los diferentes programas de una población generada al azar (con ciertas restricciones impuestas por la sintaxis del lenguaje de programación utilizado).

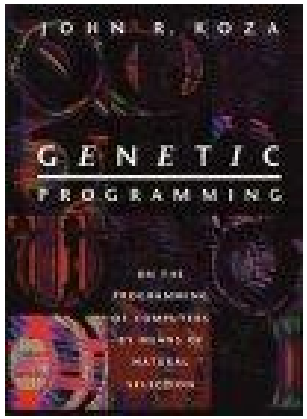
Historia de la Computación Evolutiva

La diferencia fundamental entre el trabajo de Cramer y el de Koza es que el primero usó una función de aptitud interactiva (es decir, el usuario debía asignar a mano el valor de aptitud de cada árbol de la población), mientras el segundo logró automatizarla.

Historia de la Computación Evolutiva

La propuesta de Koza fue la que se impuso a la larga, y más tarde se denominó **Programación Genética**. Hoy en día es muy popular y cuenta con una amplia gama de aplicaciones, así como con un evento especializado (EuroGP).





Historia de la Computación Evolutiva

El biólogo Thomas S. Ray desarrolló a principios de los 1990s un simulador muy original en el que evolucionaban programas en lenguaje ensamblador, los cuales competían por ciclos de CPU de una computadora, a la vez que intentaban reproducirse (o sea, copiarse a sí mismos) en la memoria de dicha computadora.

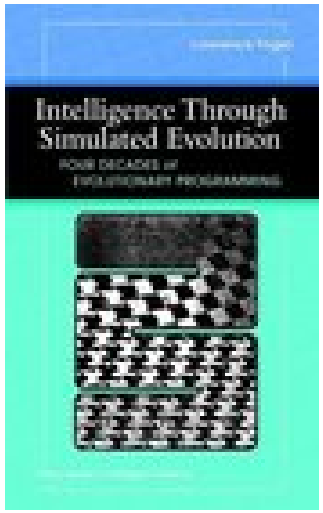
Historia de la Computación Evolutiva

En este simulador, denominado **Tierra**, se partía de un programa único con la capacidad de auto-replicarse, al que se denominaba "ancestro". Con base en este programa se generaban "criaturas" nuevas (segmentos de código), las cuales a su vez se podían sub-dividir para dar origen a nuevas criaturas. Tierra es uno de los pocos intentos por simular un ecosistema con el propósito expreso de observar los comportamientos que emergen de la dinámica evolutiva del mismo.

Tres son los paradigmas principales que conforman la computación evolutiva:

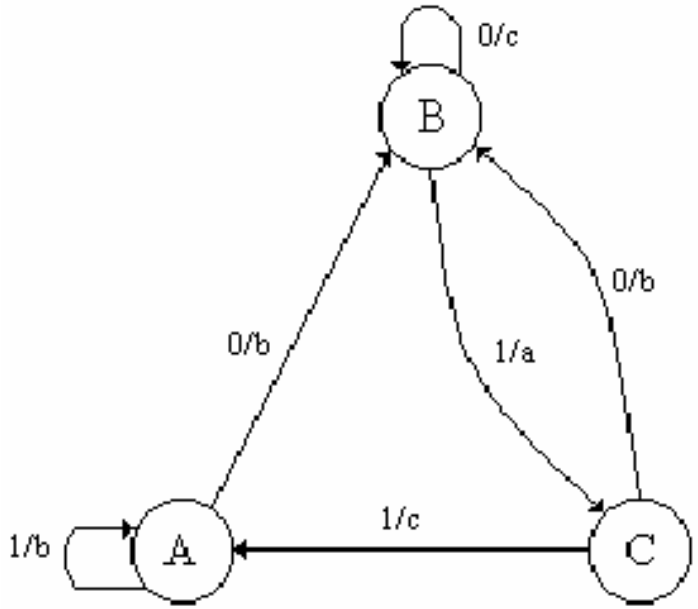
- Programación evolutiva
- Estrategias Evolutivas
- Algoritmos Genéticos

Lawrence J. Fogel propuso en 1960 una técnica denominada "programación evolutiva", en la cual la inteligencia se ve como un comportamiento adaptativo.



Ejemplo de Programación Evolutiva

Autómata finito de 3 estados.
Los símbolos a la izquierda del "/"
son de entrada, y los de la derecha
son de salida. El estado inicial es C.



Ejemplo de Programación Evolutiva

Estado Actual	C	B	C	A	A	B
Símbolo de Entrada	0	1	1	1	0	1
Estado siguiente	B	C	A	A	B	C
Símbolo de salida	b	a	c	b	b	a

Ejemplo de Programación Evolutiva

Para este ejemplo, existen 5 tipos de mutadores: cambiar un símbolo de salida, cambiar una transición, agregar un estado, borrar un estado y cambiar el estado inicial. El borrado de un estado y el cambio del estado inicial sólo se permiten en máquinas de más de un estado. Las mutaciones se eligen con respecto a una distribución probabilística, que es normalmente uniforme.

La programación evolutiva enfatiza los nexos de comportamiento entre padres e hijos, en vez de buscar emular operadores genéticos específicos (como en el caso de los algoritmos genéticos).

- El algoritmo básico de la programación evolutiva es el siguiente:

- Generar aleatoriamente una población inicial.
- Se aplica mutación.
- Se calcula la aptitud de cada hijo y se usa un proceso de selección mediante torneo (normalmente estocástico) para determinar cuáles serán las soluciones que se retendrán.

La programación evolutiva es una abstracción de la evolución al nivel de las especies, por lo que no se requiere el uso de un operador de recombinación (diferentes especies no se pueden cruzar entre sí). Asimismo, usa selección probabilística.

- Algunas aplicaciones de la programación evolutiva son:
  - Predicción
  - Generalización
  - Juegos
  - Control automático
  - Problema del viajero
  - Planeación de rutas
  - Diseño y entrenamiento de redes neuronales
  - Reconocimiento de patrones

Las **estrategias evolutivas** fueron desarrolladas en 1964 por un grupo de estudiantes alemanes de ingeniería encabezado por Ingo Rechenberg. Su objetivo era resolver problemas hidrodinámicos de alto grado de complejidad.

La versión original (1+1)-EE usaba un solo padre y con él se generaba un solo hijo. Este hijo se mantenía si era mejor que el padre, o de lo contrario se eliminaba (a este tipo de selección se le llama **extintiva**, porque los peores individuos tienen una probabilidad de cero de ser seleccionados).

En la (1+1)-EE, un individuo nuevo es generado usando:

$$\vec{x}^{t+1} = \vec{x}^{t} + N(0, \vec{\sigma})$$

donde t se refiere a la generación (o iteración) en la que nos encontramos, y $N(0, \vec{\sigma})$ es un vector de números Gaussianos independientes con una media de cero y desviación estándar $\vec{\sigma}$

Ejemplo de una (1+1)-EE

Supongamos que queremos **maximizar**:

$$f(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = 100(\vec{x}_1^2 - \vec{x}_2)^2 + (1 - \vec{x}_1)^2$$

$$\text{donde } \text{-2.048} \leq \vec{x}_1, \vec{x}_2 \leq 2.048$$

Ahora, supongamos que nuestra población consiste del siguiente individuo (generado de forma aleatoria):

$$(\vec{x}^t, \vec{\sigma}) = \text{(-1.0,1.0),(1.0,1.0)}$$

Ejemplo de una (1+1)-EE

Supongamos también que las mutaciones producidas son las siguientes:

$$\vec{x}_1^{t+1} = \vec{x}_1^t + \text{N}(0,1.0) = \text{-}1.0 + 0.61 = \text{-}0.39$$
$$\vec{x}_2^{t+1} = \vec{x}_2^t + \text{N}(0,1.0) = 1 + 0.57 = 1.57$$

Ejemplo de una (1+1)-EE

Ahora, comparamos al padre con el hijo:

Padre:

$$f(\vec{x}^t) = \text{f(-1.0,1.0)} = 4.0$$

Hijo:

$$f(\vec{x}^{t+1}) = \text{f(-0.39,1.57)} = 201.416$$

Dado que:

$$201.416 > 4.0$$

el hijo reemplazará al padre en la siguiente generación.

- Ingo Rechenberg (1973) introdujo el concepto de población, al proponer una estrategia evolutiva llamada $(\mu + 1) - EE$, en la cual hay μ padres y se genera un solo hijo, el cual puede reemplazar al peor padre de la población (selección extintiva).

- Schwefel (1975) introdujo el uso de múltiples hijos en las denominadas $(\mu + \lambda) - EEs$ y $(\mu, \lambda) - EEs$. La notación se refiere al mecanismo de selección utilizado:

- a) En el primer caso, los μ mejores individuos obtenidos de la unión de padres e hijos sobreviven.
- b) En el segundo caso, sólo los μ mejores hijos de la siguiente generación sobreviven.

Convergencia de las Estrategias Evolutivas

- Rechenberg formuló una regla para ajustar la desviación estándar de forma determinística durante el proceso evolutivo de tal manera que el procedimiento convergiera hacia el óptimo.

Convergencia de las Estrategias Evolutivas

Esta regla se conoce como la "regla del éxito 1/5", y en palabras dice:

> *" La razón entre mutaciones exitosas y el total de mutaciones debe ser 1/5. Si es más, entonces debe incrementarse la desviación estándar. Si es menos, entonces debe decrementarse".*

Convergencia de las Estrategias Evolutivas

Formalmente:

$$\sigma(t) = \begin{cases} \sigma(t-n)/c, & \text{si } p_s > 1/5 \\ \sigma(t-n) \cdot c, & \text{si } p_s < 1/5 \\ \sigma(t-n), & \text{si } p_s = 1/5 \end{cases} \quad (1)$$

donde n es el número de dimensiones, t es la generación, p_s es la frecuencia relativa de mutaciones exitosas medida sobre intervalos de (por ejemplo) $10 \cdot n$ individuos, y c=0.817 (este valor fue derivado teóricamente por Schwefel). $\sigma(t)$ se ajusta cada n mutaciones.

Auto-Adaptación

En las estrategias evolutivas se evoluciona no sólo a las variables del problema, sino también a los parámetros mismos de la técnica (es decir, las desviaciones estándar). A esto se le llama "auto-adaptación".

Auto-Adaptación

Los padres se mutan usando las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \sigma'(i) &= \sigma(i) \times exp(\tau' \cdot N(0,1) + \tau \cdot N_i(0,1)); \\ x'(i) &= x(i) + N(0, \sigma'(i)) \end{aligned}$$

donde τ y τ' son constantes de proporcionalidad que están en función de n.

Los operadores de recombinación de las estrategias evolutivas pueden ser:

- **Sexuales**: el operador actúa sobre 2 individuos elegidos aleatoriamente de la población de padres.
- **Panmíticos**: se elige un solo padre al azar, y se mantiene fijo mientras se elige al azar un segundo padre (de entre toda la población) para cada componente de sus vectores.

Las estrategias evolutivas simulan el proceso evolutivo al nivel de los individuos, por lo que la recombinación es posible. Asimismo, usan normalmente selección determinística.

Estrategias Evolutivas vs Programación Evolutiva

- La Programación Evolutiva usa normalmente selección estocástica, mientras que las estrategias evolutivas usan selección determinística.
- Ambas técnicas operan a nivel fenotípico.

Estrategias Evolutivas vs Programación Evolutiva

- La programación evolutiva es una abstracción de la evolución al nivel de las especies, por lo que no se requiere el uso de un operador de recombinación (diferentes especies no se pueden cruzar entre sí). En contraste, las estrategias evolutivas son una abstracción de la evolución al nivel de un individuo, por lo que la recombinación es posible.

- Algunas aplicaciones de las estrategias evolutivas son:

- Problemas de ruteo y redes
- Bioquímica
- Optica
- Diseño en ingeniería
- Magnetismo

- Los algoritmos genéticos (denominados originalmente "planes reproductivos") fueron desarrollados por John H. Holland a principios de los 1960s. Su motivación principal fue el aprendizaje de máquina.

- El algoritmo genético enfatiza la importancia de la cruza sexual (operador principal) sobre el de la mutación (operador secundario), y usa selección probabilística.

- El algoritmo básico es el siguiente:

- Generar (aleatoriamente) una población inicial
- Calcular aptitud de cada individuo
- Seleccionar (probabilísticamente) con base en aptitud
- Aplicar operadores genéticos (cruza y mutación) para generar la siguiente población
- Ciclar hasta que cierta condición se satisfaga

- La representación tradicional es la cadena binaria del tipo:

$$\underbrace{0110}_{Cadena1}\ \underbrace{1101}_{Cadena2}\ \underbrace{0011}_{Cadena3}\ \underbrace{1001}_{Cadena4}$$

- A la cadena se le llama "cromosoma". A cada posición de la cadena se le denomina "gene" y al valor dentro de esta posición se le llama "alelo".

- Para poder aplicar el Algoritmo Genético se requiere de los 5 componentes básicos siguientes:

- Una representación de las soluciones potenciales del problema
- Una forma de crear una población inicial de posibles soluciones (normalmente un proceso aleatorio)
- Una función de evaluación que juegue el papel del ambiente, clasificando las soluciones en términos de su "aptitud"

- Operadores genéticos que alteren la composición de los hijos que se producirán para las siguientes generaciones
- Valores para los diferentes parámetros que utiliza el Algoritmo Genético (tamaño de la población, probabilidad de cruza, probabilidad de mutación, número máximo de generaciones, etc.)

Algoritmos Genéticos vs otras técnicas evolutivas

- El AG usa selección probabilística al igual que la Programación Evolutiva, y en contraposición a la selección determinística de las Estrategias Evolutivas.
- El AG usa representación binaria para codificar las soluciones a un problema, por lo cual se evoluciona el genotipo y no el fenotipo como en la Programación Evolutiva o las Estrategias Evolutivas.

Algoritmos Genéticos vs otras técnicas evolutivas

- El operador principal en el AG es la cruza, y la mutación es un operador secundario. En la Programación Evolutiva, no hay cruza y en las Estrategias Evolutivas es un operador secundario.

Algoritmos Genéticos vs otras técnicas evolutivas

- Ha sido demostrado (Rudolph, 1994) que el AG requiere de elitismo para poder converger al óptimo.
- Los AGs no son, normalmente, auto-adaptativos.

- Algunas aplicaciones de los AGs son las siguientes:

- Optimización (estructural, de topologías, numérica, combinatoria, etc.)
- Aprendizaje de máquina (sistemas clasificadores)
- Bases de datos (optimización de consultas)
- Reconocimiento de patrones (por ejemplo, imágenes)
- Generación de gramáticas (regulares, libres de contexto, etc.)
- Planeación de movimientos de robots
- Predicción

- Para simular el proceso evolutivo en una computadora se requiere:

- Codificar las estructuras que se replicarán.
- Operaciones que afecten a los "individuos".
- Una función de aptitud.
- Un mecanismo de selección.

Diferencias de las técnicas evolutivas con respecto a las tradicionales

- Las técnicas evolutivas usan una población de soluciones potenciales en vez de un solo individuo, lo cual las hace menos sensibles a quedar atrapadas en mínimos/máximos locales.
- Las técnicas evolutivas no necesitan conocimientos específicos sobre el problema que intentan resolver.

Diferencias de las técnicas evolutivas con respecto a las tradicionales

- Las técnicas evolutivas usan operadores probabilísticos, mientras las técnicas tradicionales utilizan operadores determinísticos.
- Aunque las técnicas evolutivas son estocásticas, el hecho de que usen operadores probabilísticos no significa que operen de manera análoga a una simple búsqueda aleatoria.

Ventajas de las Técnicas Evolutivas

- Simplicidad Conceptual.
- Amplia aplicabilidad.
- Superiores a las técnicas tradicionales en muchos problemas del mundo real.
- Tienen el potencial para incorporar conocimiento sobre el dominio y para hibridizarse con otras técnicas de búsqueda/optimización.

Ventajas de las Técnicas Evolutivas

- Pueden explotar fácilmente las arquitecturas en paralelo.
- Son robustas a los cambios dinámicos.
- Generalmente pueden auto-adaptar sus parámetros.
- Capaces de resolver problemas para los cuales no se conoce solución alguna.

Comparaciones entre Técnicas

	Estrategias Evolutivas	Programación Evolutiva	Algoritmo Genético
Representación	Real	Real	Binaria
Función de Aptitud	Valor de la Función Objetivo	Valor de la Función Objetivo ajustada	Valor de la Función Objetivo ajustada
Auto-Adaptación	Desviaciones Estándar y ángulos de rotación	Ninguna Varianzas (PE-estándar), Coeficientes de correlación (meta-PE)	Ninguna
Mutación	Gaussiana, operador principal	Gaussiana, operador único	Inversión de bits, operador secundario

Comparaciones entre Técnicas

	Estrategias Evolutivas	Programación Evolutiva	Algoritmo Genético
Recombinación	Discreta e intermedia, sexual y panmítica, importante para la auto-adaptación	Ninguna	Cruza de z-puntos, cruza uniforme, únicamente sexual, operador principal
Selección	Determinística, extintiva o basada en la preservación	Probabilística, extintiva	Probabilística, basada en la preservación
Restricciones	Restricciones arbitrarias de desigualdad	Ninguna	Límites simples mediante el mecanismo de codificación
Teoría	Velocidad de Convergencia para casos especiales, (1+1)-ES, (1+λ)-ES, Convergencia Global para $(\mu + \lambda)$-ES	Velocidad de Convergencia para casos especiales, (1+1)-PE, Convegencia Global para meta-PE	Teoría de los Esquemas, Convergencia Global para la versión elitista

Críticas a las Técnicas Evolutivas

- Criticadas en sus orígenes (1960s) por los investigadores de la IA simbólica. Se creía que una simple búsqueda aleatoria podía superarlas.
- La programación automática fue considerada una "moda pasajera" en IA y el enfoque evolutivo fue visto como "un intento más" por lograr lo imposible.

Críticas a las Técnicas Evolutivas

Actualmente, todavía muchas personas creen que un AG funciona igual que una técnica "escalando la colina" que comienza de varios puntos. Se ha demostrado que esto no es cierto.

Críticas a las Técnicas Evolutivas

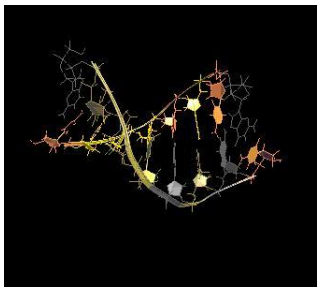
Las técnicas sub-simbólicas (redes neuronales y computación evolutiva) gozan de gran popularidad entre la comunidad científica en general, excepto por algunos especialistas de IA clásica que las consideran "mal fundamentadas" e "inestables".

Conceptos Biológicos

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

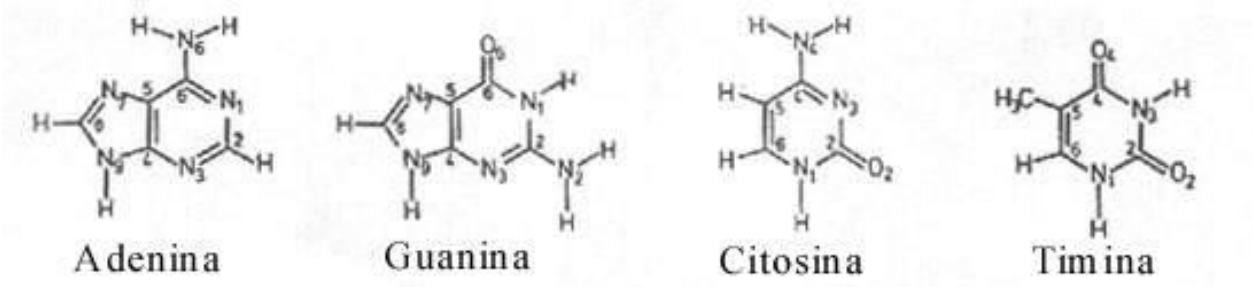
Conceptos Biológicos

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

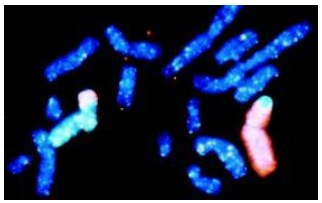


Conceptos Biológicos

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).

Conceptos Biológicos

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**.

Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

Se denomina **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.

Conceptos Biológicos

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. Un ejemplo es un gameto.

Conceptos Biológicos

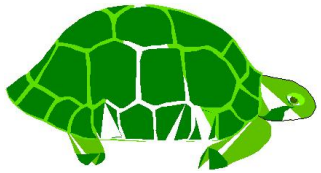
Se denomina **diploide** a una célula que contiene 2 copias de cada cromosoma. Las copias son homólogas, es decir, contienen los mismos genes en la misma secuencia.

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.

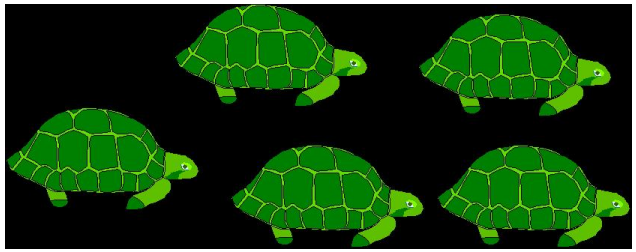
Conceptos Biológicos

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



Conceptos Biológicos

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

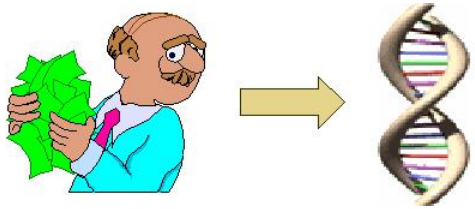


Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

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.



Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

Durante la reproducción sexual ocurre la recombinación (o cruza):

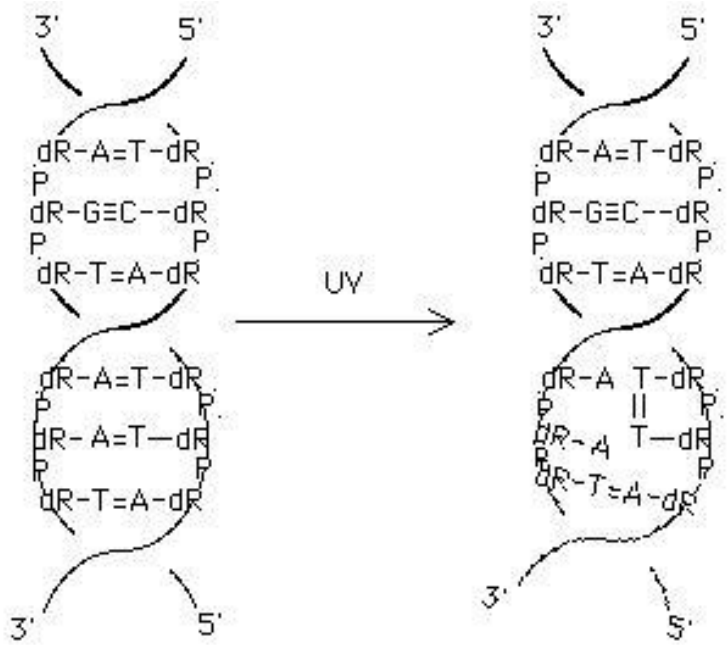
a) **Caso Haploide**: Se intercambian los genes entre los cromosomas (haploides) de los dos padres.

Conceptos Biológicos

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.



Conceptos Biológicos

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. 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.

Conceptos Biológicos

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 puede depender de cuántos más estén comportándose igual.

Conceptos Biológicos

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.

Conceptos Biológicos

La **selección** es el proceso mediante el cual algunos individuos en una población son seleccionados 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.

Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

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

Un ejemplo 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.

Conceptos Biológicos

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.

Conceptos Biológicos

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

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

Conceptos Biológicos

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 **desvío genético**.

Conceptos Biológicos

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

Conceptos Biológicos

El **desvío genético** 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 de la población.

Conceptos Biológicos

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 llamada un "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.

Conceptos Biológicos

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).

Conceptos Biológicos

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

a) 2 progenitores (sexual)

b) un progenitor (asexual)