

# 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](mailto:ccoello@cs.cinvestav.mx)

http: [//delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello](http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello)

## 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.
- Ampla 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, $(1+\lambda)$ -ES, Convergencia Global para $(\mu + \lambda)$ -ES	Velocidad de Convergencia para casos especiales, $(1+1)$ -PE, Convergencia 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

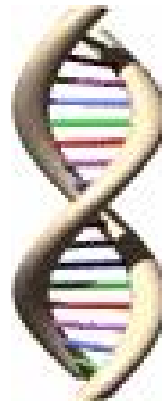
Actualmente, todavía muchas personas creen que un AG funciona igual que una técnica “escalando la colina” que comienza de varios puntos. Se ha demostrado que esto no es cierto.

## 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

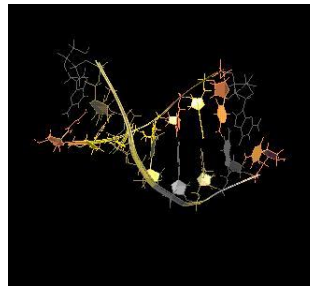
El **Acido Desoxirribonucleico** (ADN) es el material genético fundamental de todos los organismos vivos.





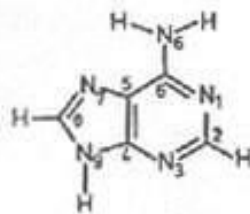
## Conceptos Biológicos

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.

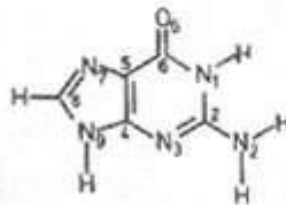


## Conceptos Biológicos

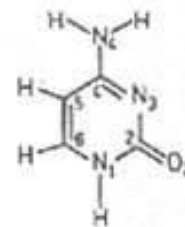
Las 4 bases de nucleótido: Adenina (A), Timina (T), Citosina (C) y Guanina (G) son el alfabeto de información genética. Las secuencias de estas bases en la molécula de ADN determinan el plan constructor de cualquier organismo.



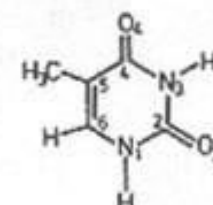
Adenina



Guanina



Citosina



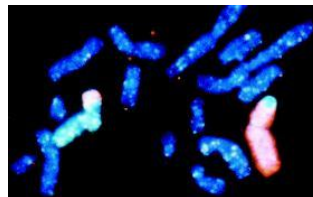
Timina

## 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

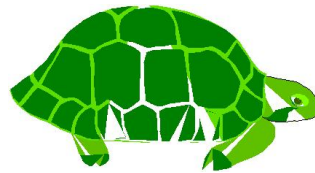
Se denomina **diploide** a una célula que contiene 2 copias de cada cromosoma. Las copias son homólogas, es decir, contienen los mismos genes en la misma secuencia.

## 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.

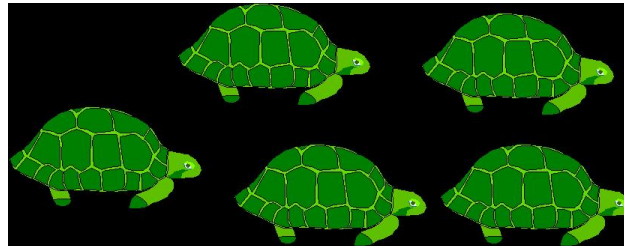
## Conceptos Biológicos

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.



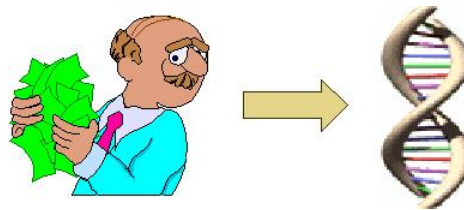
## Conceptos Biológicos

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):

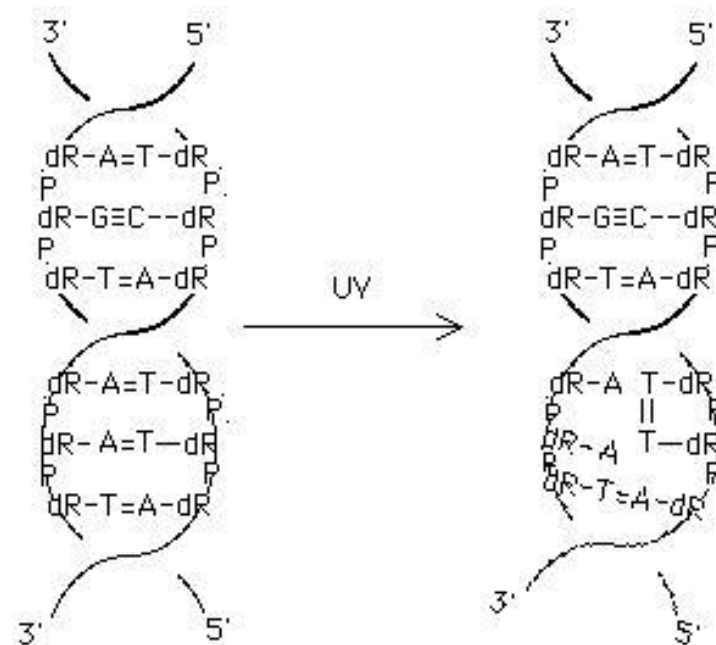
- a) **Caso Haploide:** Se intercambian los genes entre los cromosomas (haploides) de los dos padres.

## 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)

## Conceptos Biológicos

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.

## Tipos de Aprendizaje

Algunos científicos (como Atmar) consideran que existen 3 tipos distintos de inteligencia en los seres vivos:

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

## 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 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.

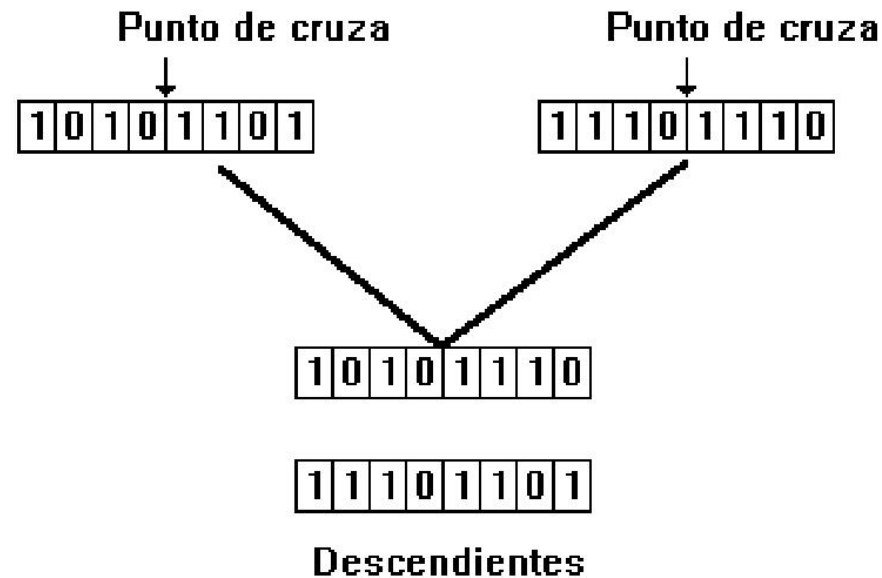
- El algoritmo básico de un AG es el siguiente:
  - Generar (aleatoriamente) una población inicial
  - Calcular aptitud de cada individuo
  - Seleccionar (probabilísticamente) en base a aptitud
  - Aplicar operadores genéticos (cruza y mutación) para generar la siguiente población
  - Ciclar hasta que cierta condición 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



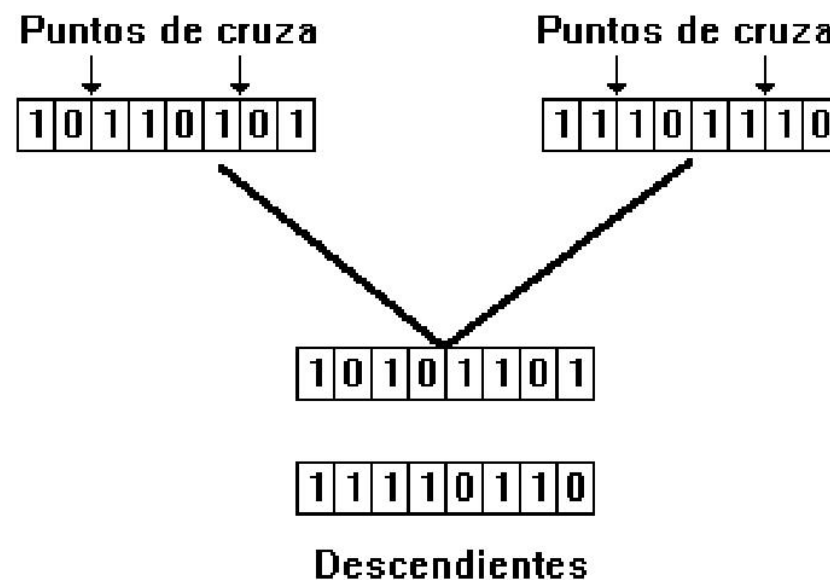
## Reproducción Usando Un Punto de Cruza



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.

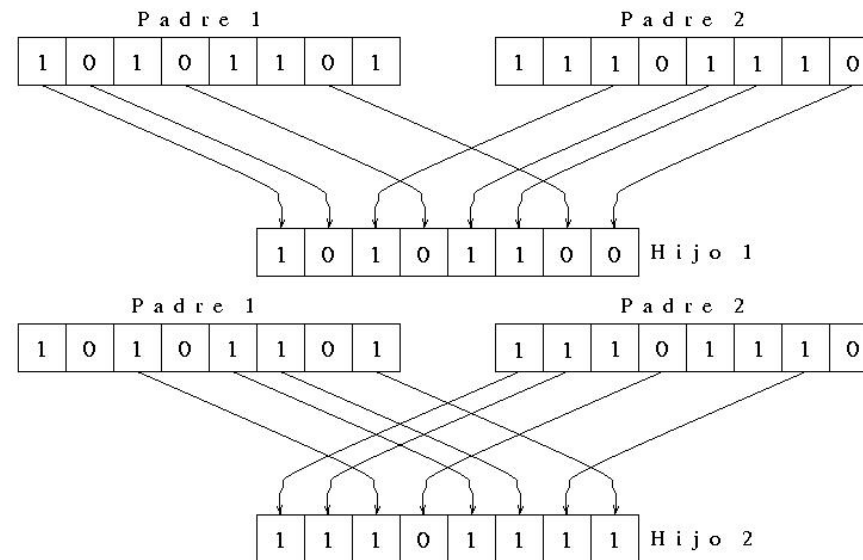


## Reproducción Usando Dos Puntos de Cruza



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.

## 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.

## Mutación

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

Cadena original

Mutar posición 6



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

Cadena mutada