

DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA OPTIMIZAR UNA POBLACIÓN  
DE INDIVIDUOS UTILIZANDO LA FUNCIÓN CUADRÁTICA  $F(X) = X^2$   
BASADO EN ALGORITMOS GENÉTICOS

ISAAC CASSIANI CABALLERO  
LILIBETH GÓMEZ ALMANZA  
SINDY JOHANA GÓMEZ ALMANZA



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
INVESTIGACIÓN FORMATIVA IV  
BARRANQUILLA

2007

---

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
3.1. TEÓRICA.....	5
3.2. PRÁCTICA.....	5
4. MARCO DE REFERENCIA.....	7
4.1. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1.1. EVOLUCION BIOLOGICA.....	7
4.1.1.1. SOBREVIVENCIA DIFERENCIADA DE CARACTERISTICAS.....	9
4.1.1.1.1. SELECCIÓN NATURAL.....	9
4.1.1.1.2. DERIVA GENETICA.....	11
4.1.1.1.3. FLUJO GENETICO.....	13
4.1.1.2. TEORIA CIENTIFICA.....	13
4.1.1.3. HISTORIA DEL PENSAMIENTO EVOLUCIONISTA.....	14
4.1.1.4. IMPACTO DE LA TEORIA DE LA EVOLUCION.....	17
4.1.1.5. EVOLUCION Y SISTEMAS ETICOS Y SOCIALES.....	18
4.1.1.6. EVOLUCION Y RELIGION.....	19
4.1.1.7. OTRAS TEORIAS Y CRITICAS CIENTIFICAS.....	21
4.1.1.8. REPRODUCCION Y HERENCIA.....	22
4.1.1.9. FUNCION DEL ADN.....	26
4.1.2. ALGORITMO GENÉTICO.....	28

---

4.1.2.1. FUNCIONAMIENTO.....	29
4.1.2.2. INTRODUCCION A LOS ALGORITMOS GENETICOS.....	30
4.1.2.3. DEFINICION DE ALGORITMO GENETICO.....	34
4.1.2.4. CARACTERISTICAS DE LOS ALGORITMOS GENETICOS.....	36
4.1.2.5. ALGORITMO GENETICO SIMPLE.....	38
4.1.2.5.1. PSEUDOCODIGO.....	38
4.1.2.5.2. CODIFICACION DE LAS VARIABLES.....	39
4.1.2.6. ALGORITMO GENETICO PROPIAMENTE DICHO.....	41
4.1.2.7. OPERADORES GENETICOS.....	43
4.1.2.7.1 SELECCIÓN.....	43
4.1.2.7.1.1. SELECCIÓN POR RULETA.....	44
4.1.2.7.1.2. SELECCIÓN POR TORNEO.....	44
4.1.2.7.2. CRUCE.....	46
4.1.2.7.2.1. CRUCE DE UN PUNTO.....	47
4.1.2.7.2.2. CRUCE DE DOS PUNTOS.....	48
4.1.2.7.2.3. CRUCE UNIFORME.....	49
4.1.2.7.3. COPIA.....	50
4.1.2.7.4. MUTACION.....	50
4.1.2.7.4.1. TECNICAS DE MUTACION.....	52
4.1.2.7.4.2. NECESIDADES DE LAS MUTACIONES.....	52
4.1.2.7.5. EVALUACION.....	53
4.1.2.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A OTRAS TECNICAS DE BUSQUEDA.....	54
4.1.3. TRANSFORMACION DE CONCEPTOS DE EVOLUCION BIOLOGICA Y ALGORITMOS GENETICOS.....	55
4.1.3.1. ACERCAMIENTO TEORICO A LOS CONCEPTOS BIOLOGICOS BASICOS.....	55
4.1.3.2. EXTRAPOLACION DE LOS CONCEPTOS BIOLOGICOS A LOS ALGORITMOS GENETICOS.....	57

---

4.1.4. TEORIA DEL SOFTWARE.....	58
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	59
5. METODOLOGÍA.....	61
5.1. DESCRIPCIÓN.....	61
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
7. GLOSARIO.....	63
8. ESTADO DEL ARTE.....	66
9. CRONOGRAMA.....	67
10. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....	68
10.1. PROCEDIMIENTO DE UN ALGORITMO GENETICO.....	68
10.2. CODIGO DE LA APLICACIÓN.....	78
11. CONCLUSION.....	97
12.BIBLIOGRAFÍA.....	98

---

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de principales valores con los que cuenta una organización es la información que genera derivada de su actividad. El desarrollo de tecnología para el manejo y tratamiento de la información, ha dado lugar a que ésta se produzca en mayor cantidad y con mejor calidad, haciendo que la toma de decisiones críticas esté fuertemente relacionada a su tratamiento y análisis. Con el transcurrir de los tiempos, los avances tecnológicos han tenido un gran crecimiento, gracias a los aportes que han realizado muchos investigadores para brindar desarrollo, dar mayor confiabilidad y confianza a los usuarios, obtener más seguridad, disponibilidad de la información y adquirir respuestas rápidas.

Los Algoritmos Genéticos son mecanismos o métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

El poder de los Algoritmos Genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades.

# 1. PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para toda función matemática se necesita realizar una serie de pasos para obtener una solución que satisfaga con lo buscado, como por ejemplo un valor máximo, un valor mínimo, trabajar con las funciones seno, coseno, etc. No obstante, en la actualidad se están realizando este tipo de problemas utilizando algoritmos genéticos para así poder obtener la solución más óptima entre múltiples de ellas, y así poderle brindar a las personas otra forma de aprendizaje, saliendo de esta manera de lo cotidiano.

El tema central en las investigaciones sobre algoritmos genéticos, ha sido la robustez, el equilibrio necesario entre la eficiencia y la eficacia suficiente para la supervivencia en entornos diferentes. Las implicaciones que tiene la robustez en los sistemas artificiales son variadas. Si se puede conseguir que un sistema artificial sea más robusto, se podrán reducir, e incluso eliminar, los costes por rediseños. Y si se es capaz de lograr niveles altos de adaptación, los sistemas podrán desarrollar sus funciones mejor y durante más tiempo.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un software para optimizar una población de individuos utilizando la función cuadrática  $f(x) = x^2$  basado en Algoritmos Genéticos?

### 1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo codificar las posibles soluciones (posibles valores de  $x$ ), en programación binaria?

¿Cómo practicar una selección de los mejores individuos a través de un torneo, asignándole una pareja a cada individuo de manera aleatoria?

¿Cómo realizar una copia de los mejores individuos seleccionados?

¿Cómo efectuar un cruce entre los individuos, asignándole a cada individuo una pareja de manera aleatoria, sin cruzar dos individuos iguales?

¿Cómo ejecutar un número de iteraciones hasta obtener una población final tras el cruce?

¿Cómo definir el funcionamiento de un algoritmo genético y su aplicación en la función cuadrática para la selección del mejor individuo?

¿Cómo demostrar la importancia que tiene la aplicación de algoritmos genéticos en las funciones matemáticas?

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un software para optimizar una población de individuos utilizando la función cuadrática  $f(x) = x^2$  basado en Algoritmos Genéticos.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Codificar las posibles soluciones (posibles valores de  $x$ ), en programación binaria.
- Practicar una selección de los mejores individuos a través de un torneo, asignándole una pareja a cada individuo de manera aleatoria.
- Realizar una copia de los mejores individuos seleccionados.
- Efectuar un cruce entre los individuos, asignándole a cada individuo una pareja de manera aleatoria, sin cruzar dos individuos iguales.
- Ejecutar un número de iteraciones hasta obtener una población final tras el cruce.
- Definir el funcionamiento de un algoritmo genético y su aplicación en la función cuadrática para la selección del mejor individuo.
- Demostrar la importancia que tiene la aplicación de algoritmos genéticos en las funciones matemáticas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

#### 3.1. TEORICA

En esta investigación reubica el interés de los investigadores, que va cobrando relevancia, porque les coloca frente a una realidad que cada día es común en los contextos de los proyectos de investigación y mucho más si éste lo adelantan estudiantes de Ingeniería de sistemas; ciencia que de por sí es la llamada a aplicar el conocimiento científico en la producción de bienes y servicios; guiándose básicamente de lo aprendido en la clases de Inteligencia Artificial, Ingeniería del Software I y II, las cuales les permiten una buena orientación en todo el proceso de este proyecto.

Esta investigación les permite medir gran parte de los conocimientos adquiridos en clase, poniéndolos en práctica a través de los distintos procesos a realizar, como son el análisis, diseño, codificación, pruebas y puesta en marcha; todo esto en base a los requerimientos obtenidos por la información suministrada por el cliente, permitiendo llevar a cabo un muy buen proyecto.

#### 3.2. PRÁCTICA

El objetivo de esta investigación es mostrar la aplicabilidad de los Algoritmos Genéticos para lograr la optimización de una población seleccionando los mejores individuos, utilizando la función cuadrática,  $F(x)=x^2$ .

El poder de los Algoritmos Genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades. Si bien no se garantiza que el Algoritmos Genéticos encuentre la solución óptima del problema, existe evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria. En el caso de que existan técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es que superen al Algoritmo Genético, tanto en rapidez como en eficacia. El gran campo de aplicación de los Algoritmos Genéticos se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas existan, y funcionen bien, pueden efectuarse mejoras de las mismas hibridándolas con los Algoritmos Genéticos.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1. EVOLUCION BIOLOGICA

“La evolución biológica es el proceso continuo de la transformación de las especies a través de cambios producidos en sucesivas generaciones, se considera que las especies actuales provienen de otras mediante una serie de variaciones que han sucedido a través del tiempo. La sola idea de pensar en la gran diversidad que existe en los seres vivos en cuanto a tamaño, forma y otras características siendo muy aceptada en la antigüedad. Pero a partir de estudios con plantas y animales demostraron la existencia de muchas semejanzas entre las especies inclusive entre otras bien diferentes.

La biología evolutiva es un subcampo de la biología, que se encarga de la ascendencia y evolución de la especies, además de los cambios que tiene con el transcurrir del tiempo. La biología evolutiva es una disciplina académica independiente que surgió en los años 1930 y 40 como resultado de la síntesis evolutiva moderna. Sin embargo, es en los años 1970 y 80 que un importante número de universidades crearon departamentos de biología evolutiva”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Wikilearning, “Evolución biológica”, Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica).



Charles Darwin, padre de la teoría de la evolución por selección natural, considerado uno de los científicos más grandes de la historia, ya que proporciono una cantidad de pruebas.

“Generalmente se denomina evolución a cualquier proceso de cambio en el tiempo. En el contexto de las Ciencias de la vida, la evolución es un cambio en el perfil genético de una población de individuos, que puede llevar a la aparición de nuevas especies, a la adaptación a distintos ambientes o a la aparición de novedades evolutivas”.

Según la teoría de Charles Darwin y Alfred Wallace explica que la evolución biológica de la especie se basa en la variedad de la descendencia y la selección natural. La variedad de la descendencia significa que los hijos se diferencian entre si respecto de los padres en algunos caracteres, por ejemplo: las jirafas pueden tener algunos descendientes con cuellos más largos que otros. La selección natural consiste en que la lucha por la vida, los individuos mejor adaptados al medio sobreviven y dejan más descendencia, por ejemplo: así al pasar el tiempo, el grupo de individuos de una población de jirafas la que predominaran será las de cuello largo”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Wikilearning, “Evolución biológica”, Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica).

#### 4.1.1.1. SOBREVIVENCIA DIFERENCIADA DE CARACTERÍSTICAS

“Al mismo tiempo que la mutación puede crear nuevos alelos, otros factores influyen la frecuencia de los alelos existentes. Estos factores hacen que algunas características se hagan frecuentes mientras que otras disminuyen o se pierden completamente. De los procesos conocidos que influyen en la persistencia de una característica, o más precisamente, en la frecuencia de un alelo podemos mencionar:

- Selección natural
- Deriva genética
- Flujo genético

##### 4.1.1.1.1. SELECCIÓN NATURAL

La selección natural consiste en la reproducción diferencial de los individuos, según su dotación genética, y generalmente como resultado del ambiente. Existe selección natural cuando hay diferencias en eficacia biológica entre los individuos de una población, es decir, cuando su contribución en descendientes es desigual. La eficacia biológica puede desglosarse en componentes como la supervivencia (la mortalidad diferencial es la tasa de supervivencia de individuos hasta la edad de reproducción), la fertilidad, la fecundidad, etc.

La selección natural puede dividirse en dos categorías:

- La sexual ocurre cuando los organismos más atractivos para el sexo opuesto debido a sus características se reproducen más y aumentan la frecuencia de estas características en el patrimonio genético común.

- La ecológica ocurre en el resto de las circunstancias (habilidad para obtener o procesar alimento, capacidad de ocultación, huída o de defensa, capacidad para resistir fluctuaciones ambientales, etc.)

La selección natural trabaja con mutaciones en diferentes formas:

- La purificadora o de fondo elimina las mutaciones perniciosas de una población.
- La positiva aumenta la frecuencia de mutaciones benéficas.
- La de balanceo mantiene las variaciones dentro de una población a través de mecanismos tales como:
  - La sobredominancia o vigor híbrido,
  - La selección dependiente de la frecuencia,

El papel central de la selección natural en la teoría de la evolución ha dado origen a una fuerte conexión entre ese campo y el estudio de la ecología.

Las mutaciones que no se ven afectadas por la selección natural son llamadas mutaciones neutras. Su frecuencia en la población está dictada por su tasa de mutación, por la deriva genética y el flujo genético. Se entiende que la secuencia de ADN de un organismo, en ausencia de selección, sufre una acumulación estable de mutaciones neutras. El efecto probable de mutación es la propuesta de que un gen que no está bajo selección será destruido por las mutaciones acumuladas. Éste es un aspecto de la llamada degradación genómica.

- La selección de organismos por sus características deseables, cuando es provocada por el hombre, por ejemplo para la agricultura es llamada selección artificial.
- La evolución darwiniana se refiere a la forma en que los seres vivos capaces de adaptarse durante su vida, pueden producir nuevas fuerzas de selección”<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Wikilearning, “Evolución biológica”, Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica).

#### 4.1.1.1.2. DERIVA GENÉTICA

“La deriva genética describe las fluctuaciones aleatorias en la frecuencia de los alelos. Esto es de especial importancia en poblaciones reducidas, donde las posibilidades de fluctuación de una generación a la siguiente son grandes. Estas fluctuaciones en la frecuencia de los alelos entre generaciones sucesivas puede producir la desaparición de algunos alelos de una población. Dos poblaciones separadas que parten de la misma frecuencia de alelos pueden derivar por fluctuación aleatoria en dos poblaciones divergentes con diferente conjunto de alelos (por ejemplo, alelos presentes en una población y que desaparecieron en la otra).

Muchos aspectos de la deriva genética dependen del tamaño de la población (generalmente abreviada como  $N$ ). En las poblaciones reducidas, la deriva genética puede producir grandes cambios en la frecuencia de alelos de una generación a la siguiente, mientras que en las grandes poblaciones, los cambios en la frecuencia de los alelos son generalmente muy pequeños. La importancia relativa de la selección natural y la deriva genética en la determinación de la suerte de las nuevas mutaciones también depende del tamaño de la población y de la presión por la selección: Cuando  $N \times s$  (tamaño de la población multiplicado por la presión por la selección) es pequeña, predomina la deriva genética. Así, la selección natural es *más eficiente* en grandes poblaciones o dicho de otra forma, la deriva genética es más poderosa en las poblaciones reducidas.

Finalmente, el tiempo que le toma a un alelo fijarse en una población por deriva genética (es decir, el tiempo que toma el que todos los individuos de la población tengan ese alelo) depende del tamaño de la población: mientras más pequeña la población, menos tiempo toma la fijación del alelo.

Los efectos de la deriva genética son pequeños en la mayoría de las poblaciones naturales, pero pueden revestir especial importancia cuando tiene lugar la formación de una población a partir de muy pocos individuos o efecto fundador, o cuando las poblaciones quedan reducidas a muy pocos individuos, es decir, pasan a través de un cuello de botella.

- **Efecto fundador:** Es un proceso frecuente en algunas islas oceánicas, que son colonizadas por unos pocos individuos que genéticamente son poco representativos con respecto a la población de la que derivan.

Un ejemplo que ilustra este efecto fundador se encuentra en el grupo religioso amish, fundado en 1771 en Pensilvania por unos pocos matrimonios. En la actualidad el 13% de las 17000 personas que forman el grupo portan en su genotipo un alelo que en homocigosis provoca enanismo y polidactilia. El número de casos registrados en esta población corresponde prácticamente a la totalidad de casos detectados en toda la población mundial. Se piensa que estas 17000 personas descienden de muy pocos individuos, algunos de los cuales eran portadores de este alelo.

- **Cuello de botella:** Se produce cuando una situación en la que, debido a condiciones ambientales adversas u otras circunstancias, la población se reduce drásticamente. Con posterioridad recupera su número, pero a partir de un corto número de individuos. Esta situación puede implicar la desaparición de determinados alelos aleatoriamente o que aumente la frecuencia de otros que en la anterior situación estaban menos representados<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

#### 4.1.1.1.3. FLUJO GENÉTICO

"O intercambio de material genético entre seres vivos de diferentes especies. Normalmente se produce a través de un vector, que suelen ser virus o bacterias; estas incorporan a su material genético genes procedentes de una especie a la que han infectado, y cuando infectan a un individuo de otra especie pueden transmitirle esos genes a los tejidos generativos de gametos.

En resumen, la selección natural actúa sobre el fenotipo y suele disminuir la diversidad, haciendo que sobrevivan solo los individuos más aptos; los mecanismos que generan diversidad y que combinan características actúan habitualmente sobre el genotipo.

#### 4.1.1.2. TEORÍA CIENTÍFICA

La evolución biológica es un fenómeno natural real, observable y comprobable empíricamente. La llamada Síntesis Evolutiva Moderna es una robusta teoría que actualmente proporciona explicaciones y modelos matemáticos sobre los mecanismos generales de la evolución o los fenómenos evolutivos, como la adaptación o la especiación. Como cualquier teoría científica, sus hipótesis están sujetas a constante crítica y comprobación experimental.

Dobzhansky, uno de los fundadores de la Síntesis moderna, definió la evolución del siguiente modo: "La evolución es un cambio en la composición genética de las poblaciones. El estudio de los mecanismos evolutivos corresponde a la genética poblacional.

La síntesis moderna de la evolución se basa en tres aspectos fundamentales:

1. La ascendencia común de todos los organismos de un único ancestro.
2. El origen de nuevos caracteres en un linaje evolutivo.
3. Los mecanismos por los que algunos caracteres persisten mientras que otros desaparecen.

La síntesis moderna no es más que una teoría fuerte que en la actualidad proporciona explicaciones y modelos matemáticos sobre los mecanismos generales de la evolución o los fenómenos de esta.

En la época de Darwin, los científicos no estaban de acuerdo sobre cómo se heredan las características. Actualmente, el origen de la mayoría de las características hereditarias puede ser trazado hasta entidades persistentes llamadas genes, codificados en moléculas lineales llamadas ADN. El ADN varía entre los miembros de una misma especie y también sufre cambios o mutaciones, o variaciones producidas a través de procesos como la Recombinación genética”<sup>5</sup>.

#### 4.1.1.3. HISTORIA DEL PENSAMIENTO EVOLUCIONISTA



Retrato de Jean Baptiste Lamarck, naturalista (1809) enunció la primera hipótesis científica sobre la evolución, al proponer que los seres más complejos provienen de otros más simples.

---

<sup>5</sup> Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

“La idea de una evolución biológica ha existido desde épocas remotas, notablemente entre los Helénicos como Epicuro, pero la teoría moderna no se estableció hasta llegados los siglos XVIII y XIX, con la contribución de científicos como Christian Pander, Jean Baptiste Lamarck y Charles Darwin. En el siglo XVIII la oposición entre fijismo y transformismo es ambigua. Algunos autores, por ejemplo, admiten la transformación de las especies limitada a los géneros, pero niegan la posibilidad de pasar de un género a otro. Otros naturalistas hablan de "progresión" en la naturaleza orgánica, pero es muy difícil determinar si con ello hacen referencia a una transformación real de las especies o se trata, simplemente, de una modulación de la clásica idea de la escala natural. Lamarck es el primero en formular explícitamente una teoría de la evolución, pero no fue hasta la publicación del *El Origen de las Especies* de Charles Darwin cuando el hecho de la evolución comenzó a ser ampliamente aceptado. Una carta de Alfred Russel Wallace, en la cual revelaba su propio descubrimiento de la selección natural, impulsó a Darwin a publicar su trabajo en evolución. Por lo tanto, a veces se comparte el crédito con Wallace por la teoría de la evolución (a veces llamada Teoría de Darwin-Wallace).

A pesar de que la teoría de Darwin pudo sacudir profundamente la opinión científica con respecto al desarrollo de la vida (e incluso resultando en una pequeña revolución social), no pudo explicar la fuente de variación existente entre las especies, y la propuesta de Darwin de la existencia de un mecanismo hereditario (pangénesis) no satisfizo a la mayoría de los biólogos. No fue recién hasta fines del siglo XIX y comienzos del XX, que estos mecanismos pudieron establecerse.

Cuando se "redescubrió" alrededor del 1900 el trabajo de Gregor Mendel sobre la naturaleza de la herencia que databa de fines del siglo XIX, se estableció una

discusión entre los Mendelianos (Charles Benedict Davenport) y los biométricos Walter Frank Raphael Weldon y Karl Pearson), quienes insistían en que la mayoría de los caminos importantes para la evolución debían mostrar una variación continua que no era explicable a través del análisis mendeliano. Finalmente, los dos modelos fueron conciliados y fusionados, principalmente a través del trabajo del biólogo y estadístico R.A. Fisher. Este enfoque combinado, que empleaba un modelo estadístico riguroso a las teorías de Mendel de la herencia vía genes, se dio a conocer en los años 1930 y 1940 y se conoce como la teoría sintética de la evolución.

En los años de la década de 1940, siguiendo el experimento de Griffith, Avery, McCleod y McCarty lograron identificar de forma definitiva al ácido desoxirribonucleico (ADN) como el "principio transformante" responsable de la transmisión de la información genética. En 1953, Francis Crick y James Watson publicaron su famoso trabajo sobre la estructura del ADN, basado en la investigación de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins. Estos desarrollos iniciaron la era de la biología molecular y transformaron el entendimiento de la evolución en un proceso molecular: la mutación de segmentos de ADN.

A mediados de la década de 1970, Motoo Kimura formuló la teoría neutralista de la evolución molecular, estableciendo de manera firme la importancia de la deriva génica como el mayor mecanismo de la evolución. Hasta la fecha continúan los debates en esta área de investigación. Uno de los debates más importantes es sobre la teoría del equilibrio puntuado, una teoría propuesta por Niles Eldredge y Stephen Jay Gould para explicar la escasez de formas transicionales entre especies.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

#### 4.1.1.4. IMPACTO DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

“A medida que se ha ido desarrollando la comprensión de los fenómenos evolutivos, posturas y creencias bien arraigadas se han visto revisadas, vulneradas o por lo menos cuestionadas. La aparición de la teoría evolutiva marca un hito, no solo en su campo de pertinencia al explicar los procesos que originan la diversidad del mundo vivo; sino también más allá del ámbito de las ciencias biológicas. Naturalmente, este concepto biológico choca con las explicaciones tradicionalmente creacionistas y fijistas de algunas posturas religiosas y místicas; y bien que aspectos como el de la descendencia de un ancestro común, aún suscita reacciones en algunas personas.

El impacto más importante de la teoría evolucionista se da a nivel de la historia del pensamiento moderno y la relación de este con la sociedad. Este profundo impacto es en definitiva debido a la naturaleza no teleológica de los mecanismos evolutivos: es decir que la evolución no sigue un fin u objetivo. Las estructuras y especies no "aparecen" por necesidad (ni por designio divino) sino que a partir de la variedad de formas existentes solo las mejor adaptadas son conservadas en el tiempo. Este mecanismo "ciego", independiente de un plan, de una voluntad divina o de una fuerza sobrenatural ha sido explorado en consecuencia en otras áreas del saber.

La adopción de la perspectiva evolutiva para abordar problemas en otros campos se ha mostrado enriquecedora y muy vigente; sin embargo en el proceso también se han dado abusos o deformaciones de la misma (como justificativo de posturas eugenéticas); las cuales han sido usadas como "*Argumentum ad consequentiam*" a través de la historia de las objeciones a la teoría de la evolución”<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

#### 4.1.1.5. EVOLUCIÓN Y SISTEMAS ÉTICOS Y SOCIALES

“La teoría de la evolución por acción de la selección natural también ha sido adoptada como fundamento para varios sistemas éticos y sociales, como el Darwinismo social, el cual mantiene que *la supervivencia del más apto* explica y justifica las diferencias de bienestar y éxito entre las sociedades, las personas y la eugenesia, que claman que la civilización humana estaba revirtiendo la selección natural permitiendo que los *menos aptos* sobrevivieran y se *procrearan en exceso* con respecto a los *más aptos*. Después de que las atrocidades del Holocausto fueran vinculadas con la eugenesia, la opinión pública científica dejó de ver de manera favorable la relación entre la selección natural y el Darwinismo social y la eugenesia (a pesar de que tampoco había sido realmente aceptada universalmente en el pasado).

Algunos creacionistas, como Kent Hovind, creen que la evolución es la base para el Nazismo, Comunismo, Marxismo, la alabanza a la Madre Tierra, racismo, etc.

La noción de que los humanos comparten ancestros comunes con otros animales, también afectó la manera en la que algunas personas ven la relación entre los humanos y otras especies. Muchos de los defensores de los derechos humanos mantienen que si los animales y humanos son de la misma naturaleza, por lo que entonces los derechos no pueden ser distintos para los humanos”<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Wikilearning, “Evolución biológica”, Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

#### 4.1.1.6. EVOLUCIÓN Y RELIGIÓN

“Antes de que la geología se convirtiera en una ciencia, a principios del siglo XIX, tanto las religiones occidentales como los científicos descontaban o condenaban de manera dogmática y casi unánime cualquier propuesta que implicara que la vida es el resultado de un proceso evolutivo. Sin embargo, a medida que la evidencia geológica empezó a acumularse en todo el mundo, un grupo de científicos comenzó a cuestionar si una interpretación literal de la creación relatada en la Biblia Judeo-Cristiana podía reconciliarse con sus descubrimientos (y sus implicaciones). Algunos geólogos religiosos, como Dean William Auckland en Inglaterra, Edward Hitchcock en Estados Unidos y Hugo Millar en Escocia siguieron justificando la evidencia geológica y fósil solo en términos de un Diluvio universal; pero una vez que Charles Darwin publicara su *Origen de las Especies* en 1859 la opinión científica comenzó a alejarse rápidamente de la interpretación literal de la Biblia.

Este debate temprano acerca de la validez literal de la Biblia no se llevó a cabo tras puertas cerradas, y desestabilizó la opinión educativa en ambos continentes. Eventualmente, instigó una *contrarreforma* que tomó la forma de un renacimiento religioso en ambos continentes entre 1857 y 1860.

A pesar que la teoría de la evolución ha sido demostrada científicamente, algunos grupos, principalmente en Estados Unidos, interpretan en las Escrituras que solo un ser supremo pudo crear directamente a los humanos y a otros animales como especies separadas y acabadas. Este punto de vista es comúnmente llamado creacionismo, y sigue siendo defendido por algunos grupos religiosos, particularmente los protestantes estadounidenses; principalmente a través de una forma de creacionismo contemporáneo llamado Diseño inteligente. Esto ha llevado a un duro conflicto entre la creación y evolución en la historia de la educación

pública de este país, aunque actualmente más bien es un fenómeno local en algunos estados; ya que es obligatoria la enseñanza de la teoría de evolución. (aunque cabe destacar que también ha afectado a otros países, por ejemplo, en el año 2005 en Italia hubo un intento de suspensión de la enseñanza de la teoría de la evolución).

En respuesta a la aceptación científica de la teoría de la evolución, muchos religiosos y filósofos han tratado de unificar los puntos de vista científico y religioso, ya sea de manera formal o informal; a través de un "creacionismo proevolución". Así por ejemplo algunos religiosos han adoptado un enfoque creacionista desde la evolución teísta o el creacionismo evolutivo, en donde Dios provee una chispa divina que inicia el proceso de la evolución, y (o) donde Dios creó el curso de la evolución.

Por ejemplo, a partir de 1950 la Iglesia Católica Romana tomó una posición neutral con respecto a la evolución con la encíclica *Humani generis* del Papa Pío XII. *"El Magisterio de la Iglesia no prohíbe el que —según el estado actual de las ciencias y la teología— en las investigaciones y disputas, entre los hombres más competentes de entrambos campos, sea objeto de estudio la doctrina del evolucionismo, en cuanto busca el origen del cuerpo humano en una materia viva preexistente —pero la fe católica manda defender que las almas son creadas inmediatamente por Dios—"*. El Papa Benedicto XVI ha afirmado que *"existen muchas pruebas científicas en favor de la evolución, que se presenta como una realidad que debemos ver y que enriquece nuestro conocimiento de la vida y del ser como tal. Pero la doctrina de la evolución no responde a todos los interrogantes y sobre todo no responde al gran interrogante filosófico: ¿de dónde viene todo esto y cómo todo toma un camino que desemboca finalmente en el hombre?"*.

En los países o regiones en los cuales de la mayoría de la población mantiene fuertes creencias religiosas, el creacionismo posee un atractivo mucho mayor que en los países donde la mayoría de la gente posee creencias seculares.

Desde los años 1920 hasta el presente en los Estados Unidos, han ocurrido varios ataques religiosos a la enseñanza de la teoría evolutiva, particularmente por parte de los cristianos fundamentalistas y protestantes; si bien entre los últimos esta no es una posición unánime<sup>9</sup>.

#### 4.1.1.7. OTRAS TEORÍAS Y CRÍTICAS CIENTÍFICAS

“La teoría sintética es el modelo explicativo más explorado y robusto de los que se dispone actualmente para comprender los fenómenos evolutivos. Aunque no existe hoy una sólida teoría alternativa desarrollada, algunos científicos si han reclamado la necesidad de realizar una reforma, ampliación o sustitución de la Teoría Sintética, con nuevos modelos capaces de integrar la Biología del Desarrollo o incorporar una serie de descubrimientos biológicos cuyo papel evolutivo se está debatiendo, tales como ciertos mecanismos hereditarios epigenéticos, la transmisión horizontal; o propuestas como la existencia de múltiples niveles jerárquicos de selección o la plausibilidad de fenómenos de asimilación genómica para explicar procesos macroevolutivos (incremento de complejidad por integración en complemento al incremento en complejidad por transformación gradual).

---

<sup>9</sup> Wikilearning, “Evolución biológica”, Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica)

Los aspectos más criticados de la teoría sintética son: el gradualismo, que ha obtenido como respuesta el modelo del equilibrio puntuado de Niles Eldredge y Stephen Jay Gould; la preponderancia de la selección natural frente a los motivos puramente estocásticos; la explicación al comportamiento del altruismo; y el reduccionismo geneticista que evitaría las implicaciones holísticas y las propiedades emergentes a cualquier sistema biológico complejo.

Sin embargo, la comunidad científica los considera solo como desacuerdos y nuevas ideas sobre puntos específicos, y que la teoría misma no ha sido rebatida en el campo de la biología, siendo comúnmente descrita como la "piedra angular de la biología moderna"<sup>10</sup>.

#### 4.1.1.8. REPRODUCCION Y HERENCIA

La reproducción de los organismos naturales se debe a la prolongación de su especie, produciendo descendientes similares a ellos con la transmisión de sus características genéticas. "La reproducción es la capacidad que tiene los seres vivos para dar origen a otros semejantes"<sup>11</sup>. A través de la reproducción que es una de las características que distinguen a los seres vivos, por medio de ésta aseguran la continuidad de la vida y, por lo tanto, la supervivencia de las especies.

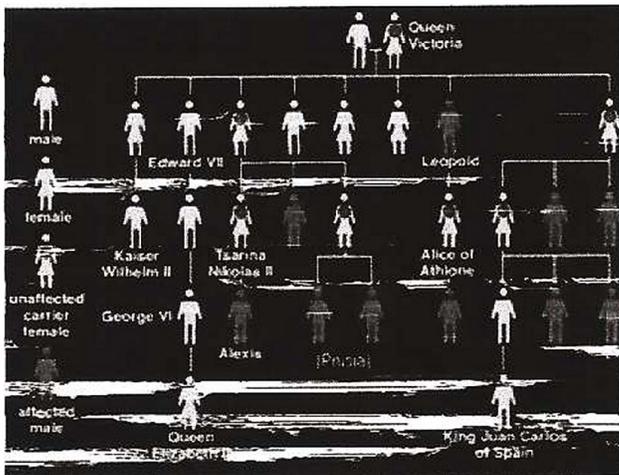
---

<sup>10</sup> Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica).

<sup>11</sup> CENTENO R, Rocío, Tierra Un Planeta Verde, Santa Fe de Bogotá D.C., Editorial Libros & Libres, 1º edic., 1994, pág. 81.

Con el paso del tiempo, se pueden observar las semejanzas y las diferencias que tienen los hijos con sus padres. Por lo general, los hijos presentan varias características que poseen sus antecesores, si estas son hereditarias pueden ser transmitidas de generación en generación. “La herencia es la transmisión de las características de generación en generación”<sup>12</sup>.



Para poder obtener información de las semejanzas y diferencias que hay entre los progenitores y los descendientes a través de varias generaciones, se transcribe a la ciencia por medio de la genética que es el estudio de los mecanismos de la herencia; el estudio de esta no es fácil, primero por la cantidad de características que hay que considerar y segundo no solo se es dependiente de la información genética que se recibe de los padres sino también los efectos del medio ambiente. “En el desarrollo de muchas características humanas la herencia es tan importante como la influencia del ambiente”<sup>13</sup>.

12 BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, pág. 36.

13 BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 36.

Los cromosomas son de gran importancia ya que ellos contienen el material genético donde esta almacenada la información de los caracteres hereditarios que son transmitidos de una generación a otra. “Los cromosomas transmiten las características hereditarias de una persona a otra”<sup>14</sup>. Cada especie posee determinado número de cromosomas diferenciables en forma y tamaño. Este conjunto de cromosomas conforman el cariotipo de la especie, por lo tanto, dentro del cariotipo de estas especies la mitad de los cromosomas provienen del padre y la otra mitad provienen de la madre, por tal razón cada cromosoma tiene su pareja u homólogo. Los cromosomas que forman pareja presentan características semejantes que son conocidas como cromosomas homólogos.



Gregor Mendel

Los conocimientos de la genética fueron propuestos por primera vez en 1866 por el monje austriaco Gregor Mendel, quien es considerado el padre de la genética, pero a descubrimientos actuales se confirma que las unidades hereditarias a las que se refiere Mendel era a los genes. Por lo tanto, la teoría de un gen se basa en que un organismo hereda sus características a través de los genes. “Un gen es una unidad hereditaria que controla la manifestación de una característica”<sup>15</sup>.

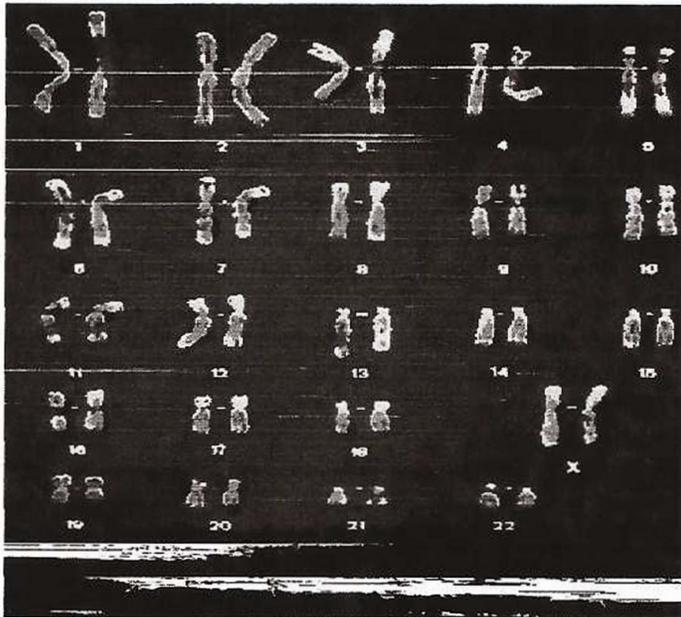
---

14 CENTENO R, Rocío, Tierra Un Planeta Verde, Santa Fe de Bogotá D.C., Editorial Libros & Libres, 1º edic., 1994, pág. 46

15 BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 48.

Estas características por lo mínimo son controladas por dos genes, uno heredado del padre y el otro de la madre; estos dos genes que informan sobre una misma característica son llamados genes alelos (del griego *allelon* que significa pertenecer uno a otro). "Los Genes Alelos que posee un individuo para determinar cierta característica constituyen el genotipo, mientras que la característica misma, o sea, la apariencia física derivada de la expresión de esos genes, constituye el fenotipo"<sup>16</sup>. Por ejemplo: el color de ojos, el color del cabello, constituyen el fenotipo que resulta de la actividad de genes específicos o genotipo.

En otras palabras, fue **Mendel** quien descubrió que los caracteres se heredaban de forma discreta, y que se tomaban del padre o de la madre, dependiendo de su carácter dominante o recesivo. A estos caracteres que podían tomar diferentes valores se les llamaron *genes*, y a los valores que podían tomar, *alelos*.



CROMOSOMAS

---

<sup>16</sup> BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 48.

Los genes se encuentran alienados uno a continuación del otro, constituyendo el cromosoma. Típicamente un cromosoma esta constituido por dos brazos llamados cromátides, los cuales se unen en un punto común llamado centrómero. Cada cromátide por si sola es un cromosoma que se ha duplicado previamente y que esta listo para separarse durante la división celular. “La **recombinación** se da cuando se realiza el entrecruzamiento de cromosomas y se intercambian grupos de genes”<sup>17</sup>, esto quiere decir, que cuando las dos células sexuales, o gametos, una masculina y otra femenina se combinan, los cromosomas de cada una también lo hacen, intercambiándose genes, que a partir de ese momento pertenecerán a un cromosoma diferente. A veces también se produce traslocación dentro de un cromosoma; una secuencia de código se elimina de un sitio y aparece en otro sitio del cromosoma, o en otro cromosoma.

#### 4.1.1.9. FUNCION DEL ADN

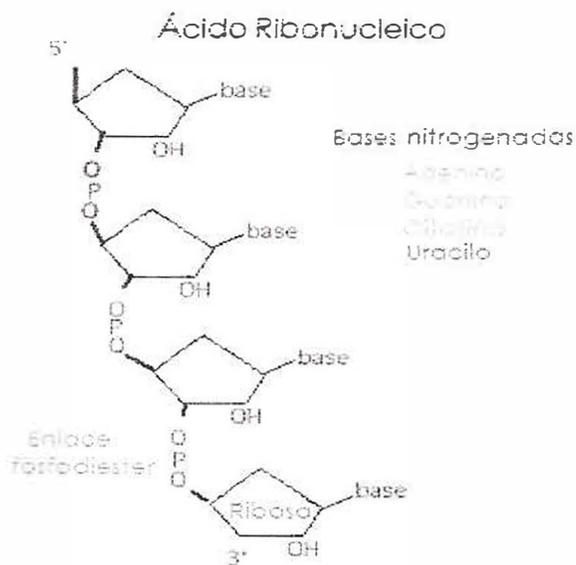
El descubrimiento de la función del ADN se baso en experimentos con microorganismos. “El ADN es el material que se transmite de padres a hijos, el cual controla la actividad celular y determina las características de los seres”<sup>18</sup> (James Watson y Francis Crick). Y no fue hasta los años 50, cuando **Watson y Crick** descubrieron que la base molecular de los genes está en el ADN, ácido desoxirribonucleico. Los cromosomas están compuestos de ADN, y por tanto los genes están en los cromosomas. La macromolécula de ADN está compuesta por bases *púricas y pirimidínicas*, la adenina, citosina, guanina y timina.

---

17 BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 49.

18 BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 38.

La combinación y la secuencia de estas bases forma el **código genético**, único para cada ser vivo. Grupos de 3 bases forman un *codon*, y cada codon codifica un aminoácido (el que exprese ese aminoácido o no depende de otros factores); el código genético codifica todas las proteínas que forman parte de un ser vivo. Mientras que al código genético se le llama *genotipo*, al cuerpo que construyen esas proteínas, modificado por la presión ambiental, la historia vital, y otros mecanismos dentro del cromosoma, se llama *fenotipo*.

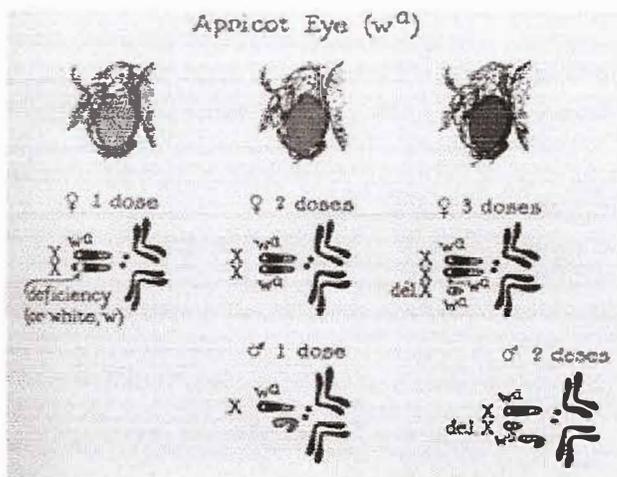


En los organismos naturales el ADN como material de los genes, tiene la característica de duplicarse antes de cada división. De tal manera que las características hereditarias pueden ser conservadas por muchas generaciones sin ninguna variación.

Sin embargo, ocasionalmente esta información no se copia en forma exacta por lo que se produce una alteración en el mensaje genético que se conoce como **mutación**. "Las mutaciones son cambios heredables del material genético"<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991, Pág. 56.

La **mutación** es una alteración del código genético, que puede suceder por múltiples razones. En muchos casos, las mutaciones las elimina la ADN-polimerasa, la navaja del ejército suizo del ADN, que igual duplica, que corrige, que desinvierte un cacho genético mal colocado. En muchos otros casos, las mutaciones, que cambian un nucleótido por otro, son letales, y los individuos ni siquiera llegan a desarrollarse, pero a veces se da lugar a la producción de una proteína que aumenta la supervivencia del individuo, y que, por tanto, es pasada a la descendencia. Las mutaciones son totalmente aleatorias, y son el mecanismo básico de generación de variedad genética. A pesar de lo que se piensa habitualmente, la mayoría de las mutaciones ocurren de forma natural, aunque existen *sustancias mutagénicas* que aumentan su frecuencia.



#### 4.1.2. ALGORITMO GENÉTICO

En los años setenta, de la mano de John Holland surgió una de las líneas más prometedoras de la inteligencia artificial, la de los **algoritmos genéticos**. Son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular.

Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinación genética), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados. Los algoritmos genéticos forman parte de una familia denominada algoritmos evolutivos, que incluye las estrategias de evolución, la programación evolutiva y la programación genética.

#### 4.1.2.1. FUNCIONAMIENTO

Los algoritmos genéticos establecen una analogía entre el conjunto de soluciones de un problema, llamado fenotipo, y el conjunto de individuos de una población natural, codificando la información de cada solución en una cadena, generalmente binaria, llamada cromosoma. Los símbolos que forman la cadena son llamados los genes. Cuando la representación de los cromosomas se hace con cadenas de dígitos binarios se le conoce como genotipo. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones, llamadas generaciones. En cada generación, los cromosomas son evaluados usando alguna medida de aptitud. Las siguientes generaciones (nuevos cromosomas), llamada descendencia, se forman utilizando dos operadores.

Los *algoritmos genéticos* son métodos sistemáticos para la resolución de problemas de búsqueda y optimización que aplican a estos los mismos métodos de la evolución biológica: selección basada en la población, reproducción sexual y mutación. Las soluciones codificadas en un cromosoma *compiten* para ver cuál constituye la mejor solución (aunque no necesariamente la mejor de todas las

soluciones posibles). El *ambiente*, constituido por las otras camaradas soluciones, ejercerá una presión selectiva sobre la población, de forma que sólo los mejor adaptados (aquellos que resuelvan mejor el problema) sobrevivan o leguen su material genético a las siguientes generaciones, igual que en la evolución de las especies. La diversidad genética se introduce mediante mutaciones y reproducción sexual.

#### 4.1.2.2. INTRODUCCIÓN A LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

El algoritmo genético es una técnica de búsqueda basada en la teoría de la evolución de Darwin, que ha cobrado tremenda popularidad alrededor del mundo durante los últimos años.

Fue en las décadas de 1950 y 1960 cuando varios científicos, de modo independiente, comenzaron a estudiar los sistemas evolutivos, guiados por la intuición de que se podrían emplear como herramienta en problemas de optimización en ingeniería. La idea era *evolucionar* una población de candidatos a ser solución de un problema conocido, utilizando operadores inspirados en la selección natural y la variación genética natural.

Con esta idea nace en el año 1993 la **computación evolutiva**, que retoma conceptos de la evolución y la genética para resolver principalmente problemas de optimización. Esta rama de la inteligencia artificial tiene sus raíces en tres desarrollos relacionados pero independientes entre sí:

- Algoritmos genéticos
- Programación evolutiva
- Estrategias Evolutivas

De estas tres áreas parten los caminos hacia todos los campos de investigación inspirados en nuestros conocimientos sobre Evolución.

Las **estrategias evolutivas** son métodos computacionales que trabajan con una población de individuos que pertenecen al dominio de los números reales, que mediante los procesos de mutación y de recombinación evolucionan para alcanzar el óptimo de la función objetivo. Entre 1965 y 1973 Rechenberg las introdujo como método para optimizar parámetros reales para ciertos dispositivos. La misma idea fue desarrollada poco después (75-77) por Schwefel. El campo de las estrategias evolutivas ha permanecido como un área de investigación activa, cuyo desarrollo se produce, en su mayor parte, de modo independiente al de los algoritmos genéticos (aunque recientemente se ha visto como las dos comunidades han comenzado a colaborar).

La **programación evolutiva** (PE) es prácticamente una variación de los algoritmos genéticos, donde lo que cambia es la representación de los individuos. En el caso de la PE los individuos son ternas (tripletas) cuyos valores representan estados de un autómata finito. Cada terna está formada por el valor del estado actual, un símbolo del alfabeto utilizado y el valor del nuevo estado.

Estos valores se utilizan como en un autómata finito, teniendo el valor del estado actual en el que nos encontramos, tomamos el valor del símbolo actual y si es el símbolo de nuestra terna, nos debemos mover al nuevo estado. Además las funciones de selección, cruce (crossover) y mutación deben variar para adaptarse y funcionar con una población de individuos de este tipo.

Fogel, Owens y Walsh fueron los creadores en el 1966 de la programación evolutiva, una técnica en la cual las candidatas a soluciones a tareas determinadas, eran representadas por máquinas de estados finitos, cuyos diagramas de estados de transición se evolucionaban mediante mutación aleatoria, seleccionándose el que mejor aproximara.

Pasamos ahora a hablar de los **algoritmos genéticos**. La primera mención del término, y la primera publicación sobre una aplicación del mismo, se deben a Bagley en 1967. Este diseñó algoritmos genéticos para buscar conjuntos de parámetros en funciones de evaluación de juegos, y los comparó con los algoritmos de correlación, procedimientos de aprendizaje modelizados después de los algoritmos de pesos variantes de ese periodo. Sin embargo el que es considerado como el creador de los algoritmos genéticos es John Holland, que los desarrolló, junto a sus alumnos y colegas, durante las décadas de 1960 y 1970.

En contraste con las estrategias evolutivas y la programación evolutiva, el propósito original de Holland no era diseñar algoritmos para resolver problemas concretos, sino estudiar, de un modo formal, el fenómeno de la adaptación tal y como ocurre en la naturaleza, y desarrollar vías de extrapolar esos mecanismos de adaptación natural a los sistemas computacionales. El libro que Holland escribió en 1975 *Adaptación en sistemas naturales y artificiales* presentaba el algoritmo genético como una abstracción de la evolución biológica, y proporcionaba el entramado teórico para la adaptación bajo el algoritmo genético.

El algoritmo genético de Holland era un método para desplazarse, de una población de cromosomas (bits) a una nueva población, utilizando un sistema similar a la selección natural junto con los operadores de *cruces*, *mutaciones* e *inversión* inspirados en la genética. En este primitivo algoritmo, cada cromosoma consta de genes (bits), y cada uno de ellos es una muestra de un alelo particular (0 o 1).

Holland adapta los operadores de selección, cruces, mutaciones e inversión a su algoritmo:

- **Selección:** este operador escoge entre los cromosomas de la población aquellos con capacidad de reproducción, y entre estos, los que sean más *compatibles*, producirán más descendencia que el resto.
- **Cruce:** extrae partes de dos cromosomas, imitando la combinación biológica de dos cromosomas aislados (gametos).
- **Mutación:** se encarga de cambiar, de modo aleatorio, los valores del alelo en algunas localizaciones del cromosoma.
- **Inversión:** invierte el orden de una sección contigua del cromosoma, recolocando por tanto el orden en el que se almacenan los genes.

La mayor innovación de Holland fue la de introducir un algoritmo basado en poblaciones con cruces, mutaciones e inversiones. Es más, Holland fue el primero en intentar colocar la computación evolutiva sobre una base teórica firme. Hasta hace poco, esta base teórica, fundamentada en la noción de *esquemas*, fue la estructura sobre la que se edificaron la mayoría de los trabajos teóricos sobre algoritmos genéticos en las décadas siguientes.

Además de los investigadores de los que hemos hablado muchos otros investigadores desarrollaron su trabajo en los algoritmos para la optimización y el aprendizaje inspirados en la evolución. Cabe resaltar nombres como los de Box (1957), Friedman (1959), Bledsoe (1961), Bremermann (1962), y Reed, Toombs y Baricelli (1967). Sin embargo, su trabajo no ha tenido, ni con mucho, la atención que han recibido las estrategias evolutivas, programación evolutiva, y los algoritmos genéticos. Hay que recordar además a los biólogos evolucionistas que han utilizado el ordenador para simular la evolución para realizar experimentos controlados (Baricelli (1957-1962), Fraser 1957, Martin y Coreman 1960). Pero habría que esperar hasta que la computación electrónica se desarrollara, para poder apreciar la consolidación definitiva de la computación evolutiva.

En estos últimos años se ha generado una amplia interacción entre los investigadores de varios métodos de computación evolutiva, rompiéndose las fronteras entre algoritmos genéticos, estrategias evolutivas y programación evolutiva. Como consecuencia, en la actualidad, el término “algoritmo genético” se utiliza para designar un concepto mucho más amplio del que concibió Holland.

#### 4.1.2.3. DEFINICIÓN DE ALGORITMO GENÉTICO

Los objetivos que perseguían John Holland y sus colegas de la Universidad de Michigan cuando concibieron los algoritmos genéticos, eran dos: primero abstraer y explicar rigurosamente el proceso adaptativo de los sistemas naturales; segundo diseñar sistemas artificiales que retuvieran los mecanismos más importantes de los sistemas naturales. En este sentido, podemos dar una definición de los algoritmos genéticos:

Más formalmente, y siguiendo la definición dada por Goldberg,

*“Algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural y genética natural. Combinan la supervivencia de los más compatibles entre las estructuras de cadenas, con una estructura de información ya aleatorizada, intercambiada para construir un algoritmo de búsqueda con algunas de las capacidades de innovación de la búsqueda humana”. [Goldberg 1989].*

Básicamente, el Algoritmo Genético funciona como sigue: en cada generación, se crea un conjunto nuevo de “criaturas artificiales” (cadenas) utilizando bits y partes más adecuadas del progenitor. Esto involucra un proceso aleatorio que no es, en absoluto, simple. La novedad que introducen los Algoritmos Genéticos es que explotan eficientemente la información histórica para especular sobre nuevos puntos de búsqueda, esperando un funcionamiento mejorado.

El tema central en las investigaciones sobre algoritmos genéticos, ha sido la robustez, el equilibrio necesario entre la eficiencia y la eficacia suficiente para la supervivencia en entornos diferentes. Las implicaciones que tiene la robustez en los sistemas artificiales son variadas. Si se puede conseguir que un sistema artificial sea más robusto, se podrán reducir, e incluso eliminar, los costes por rediseños. Y si se es capaz de lograr niveles altos de adaptación, los sistemas podrán desarrollar sus funciones mejor y durante más tiempo. Sin embargo, ante la robustez, eficiencia y flexibilidad de los sistemas biológicos, sólo podemos sentarnos a contemplar, y maravillarnos; mentiríamos si dijéramos que somos capaces de igualarlos.

Podríamos plantearnos la pregunta de porque deberíamos basarnos en nuestros conocimientos sobre la evolución biológica. La respuesta la encontramos si observamos una constante que se repite en muchos problemas: la búsqueda de soluciones entre una cantidad ingente de candidatos. Veámoslo con un ejemplo, el cálculo de un conjunto de reglas o ecuaciones capaz de regir las subidas y bajadas de un mercado financiero. El modo de llegar a la mejor solución en estas situaciones, pasa por ser capaz de obtener rendimiento de un uso eficaz del paralelismo, que permita explorar diferentes posibilidades de modo simultáneo. Para ello, se precisa, tanto paralelismo computacional (contar con varios procesadores computando al mismo tiempo), como una estrategia adecuada de búsqueda.

Otra buena razón para adoptar los algoritmos genéticos pasa por los problemas computacionales, estos suelen precisar de un programa adaptativo, capaz de comportarse bien ante cambios en el entorno. Además, la mayoría de estos problemas tienen soluciones complejas, muy difíciles de programar a mano. La computación evolutiva puede ser la respuesta, mediante la selección natural, con variaciones debidas a cruces y/o mutaciones. Su objetivo es el diseño de

soluciones de alta calidad para problemas de elevado grado de complejidad, y la habilidad de adaptar esas soluciones de cara a cambios en el entorno.

La evolución, tal y como la conocemos, es básicamente un método de búsqueda entre un número enorme de posibles soluciones. En biología las posibilidades están formadas por un conjunto de secuencias genéticas posibles, y las soluciones deseadas, por organismos capaces de sobrevivir y reproducirse en sus entornos. La evolución puede verse, asimismo, como un modo de diseñar soluciones a problemas complejos, con la capacidad de innovar. Estos son los motivos de que los mecanismos evolutivos sean una fuente de inspiración para los algoritmos de búsqueda. Por supuesto, el buen funcionamiento de un organismo biológico depende de muchos criterios, que además varían a medida que el organismo evoluciona, de modo que la evolución está “buscando” continuamente entre un conjunto cambiante de posibilidades. Por ello, podemos considerarla como un método de búsqueda masivamente paralelo, ya que evalúa y cambia millones de especies en paralelo.

#### 4.1.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

“ *Son algoritmos estocásticos.* Dos ejecuciones distintas pueden dar dos soluciones distintas.

· *Son algoritmos de búsqueda múltiple,* de los que se obtiene como respuesta varias soluciones.

· *Son los algoritmos que hacen una barrida mayor al subespacio de posibles soluciones válidas.*

De hecho, se considera que, de todos los algoritmos de optimización estocásticos, los algoritmos genéticos son de los más exploratorios disponibles. A diferencia de

otros algoritmos, cuya convergencia y resultado final son fuertemente dependientes de la posición inicial, en los algoritmos genéticos, salvo poblaciones iniciales realmente degeneradas, en los que el operador de mutación va a tener mucho trabajo, *la convergencia del algoritmo es poco sensible a la población inicial* si esta se escoge de forma aleatoria y es lo suficientemente grande.

Por su grado de penetración casi nulo, la curva de convergencia asociada al algoritmo presenta una *convergencia excepcionalmente rápida al principio*, que casi enseguida se bloquea. *Es una búsqueda paramétricamente robusta*. Eso quiere decir que hemos de escoger realmente mal los parámetros del algoritmo para que no converja. Con tasas razonables, va a converger mejor o peor en una solución razonablemente buena si la representación es la adecuada.

Por último, *los algoritmos genéticos son intrínsecamente paralelos*. Esto significa que, independientemente de que lo hayamos implementado de forma paralela o no, buscan en distintos puntos del espacio de soluciones de forma paralela. Ese paralelismo intrínseco permite que sean fácilmente paralelizables, es decir, que sea fácil modificar el código para que se ejecute simultáneamente en varios procesadores<sup>20</sup>.

---

20 VITERI, Katherine; SALAZAR, Christian; PAREDES, Carlos; MUÑOZ, José Luis, "Algoritmos Genéticos", 2005. Consultado en Octubre de 2007 en la URL:  
<http://www.fiec.espol.edu.ec/investigacion/topico/algoritmosgeneticos.pdf>

#### 4.1.2.5. ALGORITMO GENÉTICO SIMPLE

##### 4.1.2.5.1. PSEUDOCÓDIGO:

El Algoritmo Genético Simple, también denominado Canónico que explicaremos a continuación a modo de pseudocódigo.

```
BEGIN

  Generar una población inicial
  la función evaluación de cada individuo
  Computar de WHILE NOT Terminado DO
  BEGIN /* Producir nueva generación */
  FOR tamaño población)/2 DO
  (T BEGIN /*Ciclo reproductivo*/
      Seleccionar dos individuos de la generación
      anterior, para el cruce (probabilidad de selección
      proporcional a la función de evaluación del
      individuo)
      Cruzar con cierta probabilidad los dos individuos
      obteniendo dos descendientes
      Mutar los dos descendientes con cierta
      probabilidad
      Computar la función de evaluación de los dos
      descendientes mutados
      Insertar los dos descendientes mutados en la
      nueva generación

  END
  IF la población ha convergido THEN
  Terminado := TRUE
  END
END
```

Se necesita una codificación o representación del problema, que resulte adecuada al mismo. Además se requiere una función de ajuste ó adaptación al problema, la cual asigna un número real a cada posible solución codificada. Durante la ejecución del algoritmo, los padres deben ser seleccionados para la reproducción, a continuación dichos padres seleccionados se cruzarán generando dos hijos, sobre cada uno de los cuales actuará un operador de mutación. El resultado de la

combinación de las anteriores funciones será un conjunto de individuos (posibles soluciones al problema), los cuales en la evolución del Algoritmo Genético formarán parte de la siguiente población.

#### 4.1.2.5.2. CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Se supone que los individuos (posibles soluciones del problema), pueden representarse como un conjunto de parámetros (que denominaremos genes), los cuales agrupados forman una ristra de valores (a menudo referida como cromosoma). Si bien el alfabeto utilizado para representar los individuos no debe necesariamente estar constituido por el  $f_0$ ; 1g, buena parte de la teoría en la que se fundamentan los Algoritmos Genéticos utiliza dicho alfabeto.

En términos biológicos, el conjunto de parámetros representando un cromosoma particular se denomina fenotipo. El fenotipo contiene la información requerida para construir un organismo, el cual se refiere como genotipo. Los mismos términos se utilizan en el campo de los Algoritmos Genéticos. La adaptación al problema de un individuo depende de la evaluación del genotipo. Esta última puede inferirse a partir del fenotipo, es decir puede ser computada a partir del cromosoma, usando la función de evaluación.

La función de adaptación debe ser diseñada para cada problema de manera específica. Dado un cromosoma particular, la función de adaptación le asigna un número real, que se supone refleja el nivel de adaptación al problema del individuo representado por el cromosoma.

Durante la fase reproductiva se seleccionan los individuos de la población para cruzarse y producir descendientes, que constituirán, una vez mutados, la siguiente

generación de individuos. La selección de padres se efectúa al azar usando un procedimiento que favorezca a los individuos mejor adaptados, ya que a cada individuo se le asigna una probabilidad de ser seleccionado que es proporcional a su función de adaptación. Este procedimiento se dice que está basado en la ruleta sesgada.

Según dicho esquema, los individuos bien adaptados se escogerán probablemente varias veces por generación, mientras que los pobremente adaptados al problema, no se escogerán más que de vez en cuando. Una vez seleccionados dos padres, sus cromosomas se combinan, utilizando habitualmente los operadores de cruce y mutación. Las formas básicas de dichos operadores se describen a continuación.

El operador de cruce, coge dos padres seleccionados y corta sus ristas de cromosomas en una posición escogida al azar, para producir dos subristras iniciales y dos subristras finales. Después se intercambian las subristras finales, produciéndose dos nuevos cromosomas completos. Ambos descendientes heredan genes de cada uno de los padres. Este operador se conoce como operador de cruce basado en un punto. Habitualmente el operador de cruce no se aplica a todos los pares de individuos que han sido seleccionados para emparejarse, sino que se aplica de manera aleatoria, normalmente con una probabilidad comprendida entre 0.5 y 1.0. En el caso en que el operador de cruce no se aplique, la descendencia se obtiene simplemente duplicando los padres.

El operador de mutación se aplica a cada hijo de manera individual, y consiste en la alteración aleatoria (normalmente con probabilidad pequeña) de cada gen componente del cromosoma. Si bien puede en principio pensarse que el operador de cruce es más importante que el operador de mutación, ya que proporciona una

exploración rápida del espacio de búsqueda, este último asegura que ningún punto del espacio de búsqueda tenga probabilidad cero de ser examinado, y es de capital importancia para asegurar la convergencia de los Algoritmos Genéticos.

Para criterios prácticos, es muy útil la definición de convergencia introducida en este campo por De Jong (1975) en su tesis doctoral. Si el Algoritmo Genético ha sido correctamente implementado, la población evolucionará a lo largo de las generaciones sucesivas de tal manera que la adaptación media extendida a todos los individuos de la población, así como la adaptación del mejor individuo se irán incrementando hacia el óptimo global. El concepto de convergencia está relacionado con la progresión hacia la uniformidad: un gen ha convergido cuando al menos el 95 % de los individuos de la población comparten el mismo valor para dicho gen. Se dice que la población converge cuando todos los genes han convergido. Se puede generalizar dicha definición al caso en que al menos un  $\beta\%$  de los individuos de la población hayan convergido.

#### 4.1.2.6. ALGORITMO GENÉTICO PROPIAMENTE DICHO

Para comenzar la competición, se generan aleatoriamente una serie de cromosomas. El algoritmo genético procede de la forma siguiente:

### *Algoritmo genético*

- Evaluar la puntuación (*fitness*) de cada uno de los genes.
- Permitir a cada uno de los individuos reproducirse, de acuerdo con su puntuación.
- Emparejar los individuos de la nueva población, haciendo que intercambien material genético, y que alguno de los bits de un gen se vea alterado debido a una *mutación* espontánea.

Cada uno de los pasos consiste en una actuación sobre las cadenas de bits, es decir, la aplicación de un *operador* a una cadena binaria. Se les denominan, por razones obvias, *operadores genéticos*, y hay tres principales: *selección*, *crossover* o recombinación y *mutación*; aparte de otros operadores genéticos no tan comunes, todos ellos se verán a continuación.

Un algoritmo genético tiene también una serie de parámetros que se tienen que fijar para cada ejecución, como los siguientes:

Tamaño de la población:

Debe de ser suficiente para garantizar la diversidad de las soluciones, y, además, tiene que crecer más o menos con el número de bits del cromosoma, aunque nadie ha aclarado cómo tiene que hacerlo. Por supuesto, depende también del ordenador en el que se esté ejecutando.

Condición de terminación:

Lo más habitual es que la condición de terminación sea la convergencia del algoritmo genético o un número prefijado de generaciones.

#### 4.1.2.7. OPERADORES GENÉTICOS

“Para el paso de una generación a la siguiente se aplican una serie de operadores genéticos. Los más empleados son los operadores de selección, cruce, copia y mutación. En el caso de no trabajar con una población intermedia temporal también cobran relevancia los algoritmos de reemplazo.

##### 4.1.2.7.1. SELECCIÓN

Los algoritmos de selección serán los encargados de escoger que individuos van a disponer de oportunidades de reproducirse y cuales no. Puesto que se trata de imitar lo que ocurre en la naturaleza, se ha de otorgar un mayor número de oportunidades de reproducción a los individuos más aptos. Por lo tanto la selección de un individuo estará relacionada con su valor de ajuste. No se debe sin embargo eliminar por completo las opciones de reproducción de los individuos menos aptos, pues en pocas generaciones la población se volverá homogénea.

Una opción bastante común consiste en seleccionar el primero de los individuos participantes en el cruce mediante alguno de los métodos expuestos a continuación y el segundo de manera aleatoria”<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> GESTAL POSE, Marcos, “Introducción a los Algoritmos Genéticos”, Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:

<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

#### 4.1.2.7.1.1. SELECCION POR RULETA

“Propuesto por De Jong, es posiblemente el método mas utilizado desde los orígenes de los Algoritmos Genéticos [Blickle and Thiele, 1995]. A cada uno de los individuos de la población se le asigna una parte proporcional a su ajuste de una ruleta, de tal forma que la suma de todos los porcentajes sea la unidad. Los mejores individuos recibirán una porción de la ruleta mayor que la recibida por los peores. Generalmente la población esta ordenada en base al ajuste por lo que las porciones mas grandes se encuentran al inicio de la ruleta. Para seleccionar un individuo basta con generar un numero aleatorio del intervalo  $[0...1]$  y devolver el individuo situado en esa posición de la ruleta. Esta posición se suele obtener recorriendo los individuos de la población y acumulando sus proporciones de ruleta hasta que la suma exceda el valor obtenido.

Es un método muy sencillo, pero ineficiente a medida que aumenta el tamaño de la población (su complejidad es  $O(n^2)$ ). Presenta además el inconveniente de que el peor individuo puede ser seleccionado más de una vez.

En muchas bibliografías se suele referenciar a este método con el nombre de Selección de Montecarlo.

#### 4.1.2.7.1.2. SELECCION POR TORNEO

La idea principal de este método consiste en realizar la selección en base a comparaciones directas entre individuos. Existen dos versiones de selección mediante torneo:

Determinística

Probabilística

En la versión determinística se selecciona al azar un número  $p$  de individuos (generalmente se escoge  $p = 2$ ). De entre los individuos seleccionados se selecciona el más apto para pasarlo a la siguiente generación.

La versión probabilística únicamente se diferencia en el paso de selección del ganador del torneo. En vez de escoger siempre el mejor se genera un número aleatorio del intervalo  $[0..1]$ , si es mayor que un parámetro  $p$  (fijado para todo el proceso evolutivo) se escoge el individuo más apto y en caso contrario el menos apto. Generalmente  $p$  toma valores en el rango  $0.5 < p < 1$ .

Variando el número de individuos que participan en cada torneo se puede modificar la presión de selección. Cuando participan muchos individuos en cada torneo, la presión de selección es elevada y los peores individuos apenas tienen oportunidades de reproducción. Un caso particular es el elitismo global. Se trata de un torneo en el que participan todos los individuos de la población con lo cual la selección se vuelve totalmente determinística. Cuando el tamaño del torneo es reducido, la presión de selección disminuye y los peores individuos tienen más oportunidades de ser seleccionados.

Elegir uno u otro método de selección determinará la estrategia de búsqueda del Algoritmo Genético. Si se opta por un método con una alta presión de selección se centra la búsqueda de las soluciones en un entorno próximo a las mejores soluciones actuales. Por el contrario, optando por una presión de selección menor se deja el camino abierto para la exploración de nuevas regiones del espacio de búsqueda.

Existen muchos otros algoritmos de selección. Unos buscan mejorar la ciencia computacional, otros el número de veces que los mejores o peores individuos pueden ser seleccionados. Algunos de estos algoritmos son muestreo determinístico, escalamiento sigma, selección por jerarquías, estado uniforme, sobranste estocástico, brecha generacional, etc”<sup>22</sup>.

#### 4.1.2.7.2. CRUCE

“Una vez seleccionados los individuos, estos son recombinados para producir la descendencia que se insertará en la siguiente generación. Tal y como se ha indicado anteriormente el cruce es una estrategia de reproducción sexual.

Su importancia para la transición entre generaciones es elevada puesto que las tasas de cruce con las que se suele trabajar rondan el 90 %.

Los diferentes métodos de cruce podrán operar de dos formas diferentes. Si se opta por una estrategia destructiva los descendientes se insertaran en la población temporal aunque sus padres tengan mejor ajuste (trabajando con una única población esta comparación se realizara con los individuos a reemplazar).

Por el contrario utilizando una estrategia no destructiva la descendencia pasara a la siguiente generación únicamente si supera la bondad del ajuste de los padres (o de los individuos a reemplazar). La idea principal del cruce se basa en que, si se toman dos individuos correctamente adaptados al medio y se obtiene una descendencia que comparta genes de ambos, existe la posibilidad de que los genes heredados sean precisamente los causantes de la bondad de los padres.

---

22 GESTAL POSE, Marcos, “Introducción a los Algoritmos Genéticos”, Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:

<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

Al compartir las características buenas de dos individuos, la descendencia, o al menos parte de ella, deberá tener una bondad mayor que cada uno de los padres por separado. Si el cruce no agrupa las mejores características en uno de los hijos y la descendencia tiene un peor ajuste que los padres no significa que se este dando un paso atrás. Optando por una estrategia de cruce no destructiva garantizamos que pasen a la siguiente generación los mejores individuos. Si, aun con un ajuste peor, se opta por insertar a la descendencia, y puesto que los genes de los padres continuaran en la población aunque dispersos y posiblemente levemente modificados por la mutación en posteriores cruces se podrán volver a obtener estos padres, recuperando así la bondad previamente perdida.

Existen multitud de algoritmos de cruce. Sin embargo los más empleados son los que se detallarán a continuación:

Cruce de 1 punto

Cruce de 2 puntos

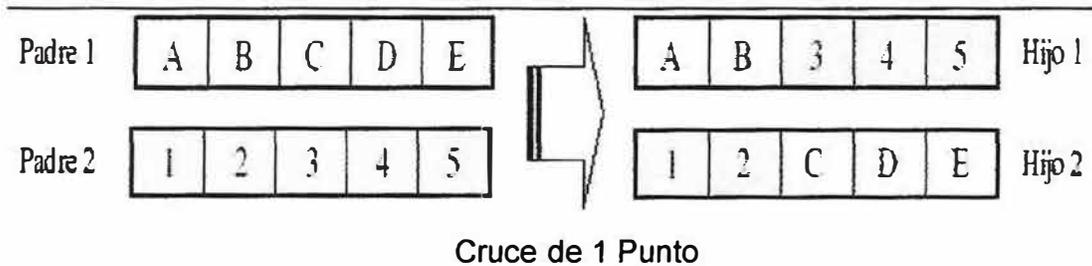
Cruce uniforme

#### 4.1.2.7.2.1. CRUCE DE 1 PUNTO

Es la más sencilla de las técnicas de cruce. Una vez seleccionados dos individuos se cortan sus cromosomas por un punto seleccionado aleatoriamente para generar dos segmentos diferenciados en cada uno de ellos: la cabeza y la cola.

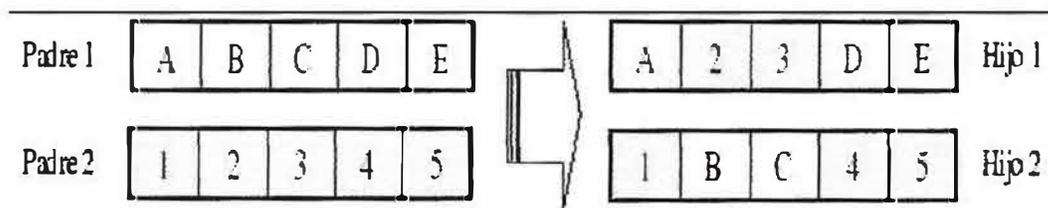
Se intercambian las colas entre los dos individuos para generar los nuevos descendientes.

De esta manera ambos descendientes heredan información genética de los padres.



#### 4.1.2.7.2.2. CRUCE DE 2 PUNTOS

Se trata de una generalización del cruce de 1 punto. En vez de cortar por un único punto los cromosomas de los padres como en el caso anterior se realizan dos cortes. Debería tenerse en cuenta que ninguno de estos puntos de corte coincida con el extremo de los cromosomas para garantizar que se originen tres



Generalmente se suele referir a este tipo de cruce con las siglas DPX (Double Point Crossover).

Generalizando se pueden añadir mas puntos de cruce dando lugar a algoritmos de cruce multipunto. Sin embargo existen estudios que desaprueban esta Técnica [Jong, 1975]. Aunque se admite que el cruce de 2 puntos aporta una sustancial mejora con respecto al cruce de un solo punto, el hecho de añadir un mayor número de puntos de cruce reduce el rendimiento del Algoritmo Genético. El problema principal de añadir nuevos puntos de cruce radica en que es más fácil que los segmentos originados sean corrompibles, es decir, que por separado

quizás pierdan las características de bondad que poseían conjuntamente. Sin embargo no todo son desventajas y añadiendo más puntos de cruce se consigue que el espacio de búsqueda del problema sea explorado más a fondo.

#### 4.1.2.7.2.3. CRUCE UNIFORME

El cruce uniforme es una técnica completamente diferente de las vistas hasta el momento. Cada gen de la descendencia tiene las mismas probabilidades de pertenecer a uno u otro padre.

Aunque se puede implementar de muy diversas formas, la técnica implica la generación de una máscara de cruce con valores binarios. Si en una de las posiciones de la máscara hay un 1, el gen situado en esa posición en uno de los descendientes se copia del primer padre. Si por el contrario hay un 0 el gen se copia del segundo padre. Para producir el segundo descendiente se intercambian los papeles de los padres, o bien se intercambia la interpretación de los unos y los ceros de la máscara de cruce.

La descendencia contiene una mezcla de genes de cada uno de los padres. El número efectivo de puntos de cruce es fijo pero sería por término medio  $L=2$ , siendo  $L$  la longitud del cromosoma (número de alelos en representaciones binarias o de genes en otro tipo de representaciones).

Se suele referir a este tipo de cruce con las siglas UPX (Uniform Point Crossover)<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> GESTAL POSE, Marcos, "Introducción a los Algoritmos Genéticos", Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:

<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutoria/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

#### 4.1.2.7.3. COPIA

“La copia es la otra estrategia reproductiva para la obtención de una nueva generación a partir de la anterior. A diferencia del cruce, se trata de una estrategia de reproducción asexual. Consiste simplemente en la copia de un individuo en la nueva generación. El porcentaje de copias de una generación a la siguiente es relativamente reducido, pues en caso contrario se corre el riesgo de una convergencia prematura de la población hacia ese individuo. De esta manera el tamaño efectivo de la población se reduciría notablemente y la búsqueda en el espacio del problema se focalizaría en el entorno de ese individuo. Lo que generalmente se suele hacer es seleccionar dos individuos para el cruce, y si este finalmente no tiene lugar, se insertan en la siguiente generación los individuos seleccionados”<sup>24</sup>.

#### 4.1.2.7.4. MUTACIÓN

“La mutación de un individuo provoca que alguno de sus genes, generalmente uno solo, varia su valor de forma aleatoria. Aunque se pueden seleccionar los individuos directamente de la población actual y mutarlos antes de introducirlos en la nueva población, la mutación se suele utilizar de manera conjunta con el operador de cruce. Primeramente se seleccionan dos individuos de la población para realizar el cruce. Si el cruce tiene éxito entonces uno de los descendientes, o ambos, se muta con cierta probabilidad  $P_m$ .

---

<sup>24</sup> GESTAL POSE, Marcos, “Introducción a los Algoritmos Genéticos”, Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:

<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

Se imita de esta manera el comportamiento que se da en la naturaleza, pues cuando se genera la descendencia siempre se produce algún tipo de error, por lo general sin mayor trascendencia, en el paso de la carga genética de padres a hijos.

La probabilidad de mutación es muy baja, generalmente menor al 1 %. Esto se debe sobre todo a que los individuos suelen tener un ajuste menor después de mutados. Sin embargo se realizan mutaciones para garantizar que ningún punto del espacio de búsqueda tenga una probabilidad nula de ser examinado. Tal y como se ha comentado, la mutación mas usual es el reemplazo aleatorio. Este consiste en variar aleatoriamente un gen de un cromosoma. Si se trabaja con codificaciones binarias consistiría simplemente en negar un bit. También es posible realizar la mutación intercambiando los valores de dos alelos del cromosoma.

Con otro tipo de codificaciones no binarias existen otras opciones: Incrementar o decrementar a un gen una pequeña cantidad generada aleatoriamente. Multiplicar un gen por un valor aleatorio próximo a 1.

Aunque no es lo más común, existen implementaciones de Algoritmos Genéticos en las que no todos los individuos tienen los cromosomas de la misma longitud.

Esto implica que no todos ellos codifican el mismo conjunto de variables.

En este caso existen mutaciones adicionales como puede ser añadir un nuevo gen o eliminar uno ya existente<sup>25</sup>.

---

25 GESTAL POSE, Marcos, "Introducción a los Algoritmos Genéticos", Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:

<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

#### 4.1.2.7.4.1. TÉCNICAS DE MUTACIÓN

“Existen varias técnicas distintas de mutación. Algunas de éstas son:

*Mutación de bit:* existe una única probabilidad de que se produzca una mutación de algún bit. De producirse, el algoritmo toma aleatoriamente un bit, y lo invierte.

*Mutación multibit:* cada bit tiene una probabilidad de mutarse o no, que es calculada en cada pasada del operador de mutación multibit.

· *Mutación de gen:* igual que la mutación de bit, solamente que, en vez de cambiar un bit, cambia un gen completo. Puede sumar un valor aleatorio, un valor constante, o introducir un gen aleatorio nuevo.

· *Mutación multigen:* igual que la mutación de multibit, solamente que, en vez de cambiar un conjunto de bits, cambia un conjunto de genes. Puede sumar un valor aleatorio, un valor constante, o introducir un gen aleatorio nuevo. Esta mutación es la que se produce implícitamente en nuestra implementación de cruce.

· *Mutación de intercambio:* existe una probabilidad de que se produzca una mutación. De producirse, toma dos bits/genes aleatoriamente y los intercambia.

· *Mutación de barajado:* existe una probabilidad de que se produzca una mutación. De producirse, toma dos bits o dos genes aleatoriamente y baraja de forma aleatoria los bits -o genes, según hubiéramos escogido- comprendidos entre los dos. La bibliografía en inglés emplea el término *scramble mutation*, en mención a un juego de mesa, mas la operación que realizamos realmente es un barajado entre los dos genes.

#### 4.1.2.7.4.2. LA NECESIDAD DE LAS MUTACIONES

Se define *mutación* como una variación de las informaciones contenidas en el código genético habitualmente, un cambio de un gen a otro producido por algún factor exterior al algoritmo genético. En Biología se definen dos tipos de

mutaciones: las generativas, que se heredan y las somáticas, que no se heredan. En los algoritmos genéticos sólo nos serán interesantes las mutaciones generativas

**Algunas de las razones que pueden motivar a incorporar mutaciones:**

- *Desbloqueo del algoritmo.* Si el algoritmo se bloqueó en un mínimo parcial, una mutación puede sacarlo al incorporar nuevos fenotipos de otras zonas del espacio
- *Acabar con poblaciones degeneradas.* Puede ocurrir que, bien por haber un cuasi mínimo, bien porque en pasos iniciales apareció un individuo demasiado bueno que acabó con la diversidad genética, la población tenga los mismos fenotipos. Degenerada por ejemplo, que la población tenga una diversidad genética pobre, la mutación es un mecanismo de prevención de las poblaciones degeneradas<sup>26</sup>.

#### 4.1.2.7.5. EVALUACIÓN

“Para el correcto funcionamiento de un Algoritmo Genético se debe de poseer un método que indique si los individuos de la población representan o no buenas soluciones al problema planteado. Por lo tanto para cada tipo de problema que se desee resolver debería derivarse un nuevo método, al igual que ocurría con la propia codificación de los individuos.

---

26 VITERI, Katherine; SALAZAR, Christian; PAREDES, Carlos; MUÑOZ, José Luis, “Algoritmos Genéticos”, 2005. Consultado en Octubre de 2007 en la URL:  
<http://www.fiec.espol.edu.ec/investigacion/topico/algoritmosgeneticos.pdf>

De esto se encarga la función de evaluación, que establece una medida numérica de la bondad de una solución. Esta medida recibe el nombre de ajuste. En la naturaleza el ajuste (o adecuación) de un individuo puede considerarse como la probabilidad de que ese individuo sobreviva hasta la edad de reproducción y se reproduzca. Esta probabilidad debería estar ponderada con el número de descendientes. Evidentemente no es lo mismo una probabilidad de reproducción del 25% en una población de un par de cientos de individuos que esa misma probabilidad en una población de varios millones. En el mundo de los Algoritmos Genéticos se emplearía esta medición para controlar la aplicación de los operadores genéticos. Es decir, permitiría controlar el número de selecciones, cruces, copias y mutaciones llevadas a cabo.

La aproximación más común consiste en crear explícitamente una medida de ajuste para cada individuo de la población. A cada uno de los individuos se les asigna un valor de ajuste escalar por medio de un procedimiento de evaluación bien definido. Tal y como se ha comentado, este procedimiento de evaluación sería específico del dominio del problema en el que se aplica el Algoritmo Genético. También puede calcularse el ajuste mediante una manera 'coevolutiva'. Por ejemplo, el ajuste de una estrategia de juego se determina aplicando esa estrategia contra la población entera (o en su defecto una muestra) de estrategias de oposición<sup>27</sup>.

#### 4.1.2.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A OTRAS TÉCNICAS DE BÚSQUEDA

“- No necesitan conocimientos específicos sobre el problema que intentan resolver.

<sup>27</sup> GESTAL POSE, Marcos, "Introducción a los Algoritmos Genéticos", Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL: <http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

- Operan de forma simultánea con varias soluciones, en vez de trabajar de forma secuencial como las técnicas tradicionales.
- Cuando se usan para problemas de optimización (maximizar una función objetivo) resultan menos afectados por los máximos locales (falsas soluciones) que las técnicas tradicionales.
- Resulta sumamente fácil ejecutarlos en las modernas arquitecturas masivas en paralelo.
- Usan operadores probabilísticos, en vez de los típicos operadores determinísticos de las otras técnicas.
- Pueden tardar mucho en converger, o no converger en absoluto, dependiendo en cierta medida de los parámetros que se utilicen: tamaño de la población, número de generaciones, etc.”<sup>28</sup>

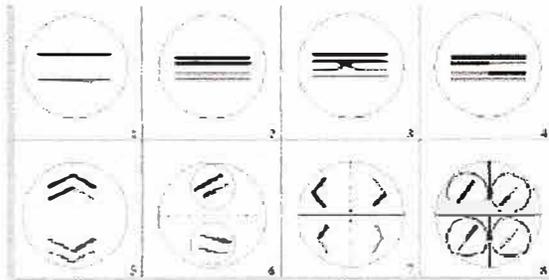
#### 4.1.3. TRANSFORMACIÓN DE CONCEPTOS DE EVOLUCIÓN BIOLÓGICA A ALGORITMOS GENÉTICOS

##### 4.1.3.1. ACERCAMIENTO TEÓRICO A LOS CONCEPTOS BIOLÓGICOS BÁSICOS:

1. Se duplica el número de cromosomas en la célula, esto es, se hace una copia de cada cromosoma. Al final quedan dos juegos correspondientes al padre y dos a la madre.
2. Se cruzan un juego de cromosomas del padre con uno de la madre, formándose dos juegos de cromosomas híbridos. El resultado es un juego de cromosomas puros del padre, un juego puro de la madre y dos juegos de cromosomas híbridos.

<sup>28</sup> VITERI, Katherine; SALAZAR, Christian; PAREDES, Carlos; MUÑOZ, José Luis, “Algoritmos Genéticos”, 2005. Consultado en Octubre de 2007 en la URL: <http://www.fiec.espol.edu.ec/investigacion/topico/algoritmosgeneticos.pdf>

3. Se divide la célula dos veces y al final del proceso quedan cuatro células haploides (con un solo juego de cromosomas): una con cromosomas puros del padre, una con cromosomas puros de la madre y dos con cromosomas híbridos.



**El proceso de meiosis**

Para el cruce de dos cromosomas se forman entre ellos puntos de ruptura y unión de las cadenas de ADN que se denominan quiasmas y cortan el cromosoma en segmentos llamados cromáticas y unen cromáticas complementarias de dos cromosomas distintos. Para la réplica un cromosoma ya existente interviene una enzima denominada ADN-polimerasa. La molécula de ADN tiene forma de doble hélice y dicha enzima se encarga de abrir por la mitad la molécula y replicar el cromosoma. Ocasionalmente la ADN-polimerasa comete un error que puede ser causado por radiaciones energéticas externas o sustancias extrañas. La alteración de dicha molécula de ADN constituye una mutación que puede manifestarse en el fenotipo y hacer al individuo diferente del resto de sus congéneres. Por lo general las mutaciones son desfavorables e incluso letales para el organismo mutante pero a veces pueden no serlo y conferir a dicho organismo alguna ventaja que le permita sobrevivir más fácilmente en su medio. Dicha característica será transmitida a sus descendientes y se habrá producido un pequeño paso evolutivo.

#### 4.1.3.2. EXTRAPOLACIÓN DE LOS CONCEPTOS BIOLÓGICOS A LOS AG:

Veamos ahora la relación comúnmente establecida entre conceptos genéticos y su traducción al mundo de los algoritmos genéticos.

Un cromosoma es una cadena que codifica la información de cada solución, que proviene de la idea que hemos descrito antes de *una larga molécula de ADN* y por tanto con información genética del descendiente. La cadena generalmente es binaria, aunque se han usado también números reales o letras en vectores. No obstante la implementación utilizando la cadena binaria es más usada y fue la propuesta original de *Holland*.

Los cromosomas son los portadores de los genes que podemos ver como un bit, o en otros casos como bloques cortos de bits adyacentes que codifican un elemento particular del candidato a solución.

Un alelo es una de las formas variantes de un gen en un locus (posición) o de un marcador particular en un cromosoma. Diferentes alelos de un gen producen variaciones en las características hereditarias tales como el color del cabello o el tipo de sangre. Por ejemplo, el gen que regula el color de la semilla del guisante presenta dos alelos: uno que determina color verde y otro que determina color amarillo. En este caso extrapolamos dos conceptos a los algoritmos genéticos: un alelo será el valor de una característica (podríamos decir que en una cadena de bits sería un 0 o un 1), el locus posición en la palabra o cadena que simboliza el cromosoma.

Hablemos ahora de la traducción que podemos hacer de las operaciones que podemos aplicar sobre el *material genético* de las que ya hemos hablado en la introducción.

El cruce o recombinación consiste, normalmente, como en su espejo biológico, en un intercambio de material genético entre dos cromosomas de dos padres haploides. La mutación es una permutación en un bit en un lugar aleatorio (o, en el caso de alfabetos largos, remplazar el símbolo de un lugar escogido aleatoriamente con un símbolo nuevo escogido también aleatoriamente). En cuanto a la selección, es el proceso en el que se eligen  $n$  individuos de la población inicial  $P_0$  ( $m$  individuos, es decir  $m$  posibles soluciones a un problema dado) que van a pasar a la siguiente generación, generalmente  $n \leq m$ . Estos  $n$  individuos forman la población intermedia  $P_i$ . De estos  $n$  individuos se vuelven a seleccionar  $p$  individuos ( $p \leq n$ ), que serán utilizados como progenitores y utilizarán la reproducción para generar descendientes. Reproducción se seleccionan  $n$  individuos de la población inicial  $P_0$  de  $m$  individuos. El genotipo de un individuo en un algoritmo genético que emplea cadenas de bits es, simplemente, la configuración de bits del cromosoma de ese individuo. La noción de fenotipo, que es la expresión del genotipo, en el contexto tratado aparece como otra cadena al igual que el genotipo o los cromosomas. Podemos decir que el genotipo es la estructura y el fenotipo la estructura sometida al problema.

#### 4.1.4. TEORÍA DEL SOFTWARE

Como dice Pressman, "El software de computadora es el producto que diseñan y construyen los ingenieros del software. Abarcando programas que se ejecutan dentro de una computadora de cualquier tamaño y arquitectura, documentos que comprenden formularios virtuales e impresos, datos que combinan números, texto y también incluyen representaciones de información de audio, video e imágenes"<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> PRESSMAN, Roger. Ingeniería del software Un enfoque práctico, Madrid, McGraw Hill. 5ª Edición, 2002. Pág 3.

## 4.2. MARCO CONCEPTUAL

**Gen (Gen)**- Partícula de los cromosomas que producen la aparición de caracteres hereditarios.

**Genética (Genetic)**- Ciencia que estudia los fenómenos relativos a la herencia.

**Evolución (Evolution)**- Serie de transformaciones sucesivas que han sufrido los seres vivos desde los tiempos geológicos.

**Aptitud (Aptitude)**- Medida de la aptitud de un individuo para su supervivencia.

**Generación (Generation)**-Iteración de la medida de aptitud y la creación de una nueva población por medio de operaciones genéticas.

**Reproducción (Reproduction)**- Operación genética que origina la creación de una copia exacta de la representación genética de un individuo de la población.

**Cruce (Crossover)**: Generar dos nuevos hijos a partir de dos cadenas padre.

**Mutación (Mutation)**: Produce un nuevo hijo a partir de un solo padre con solo cambiar un BIT al azar.

**Ingeniería**: Aplicación del conocimiento científico en la producción de bienes y servicios.

**Ingeniería del Software**: Aplicación del conocimiento científico (métodos, técnicas, herramientas, conceptos) en la construcción de software de calidad.

**Sistema:** Conjunto de elementos interrelacionados con un objetivo común.

**Sistema de Información:** Conjunto de elementos como el hardware y el software que sirven para almacenar, procesar y transmitir información.

**Software:** Son programas, procedimientos, reglas, documentación y estructuras de datos.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. DESCRIPCIÓN**

Para recopilar los requisitos para realizar el sistema, fue necesario hacer una amplia investigación en Internet, para averiguar que era un algoritmo genético, su funcionamiento, que significado tiene cada fase de desarrollo, en que se ha implementado el algoritmo genético y con que finalidad; también, para recopilar información de los grandes avances que ha tenido la implementación de éstos en la actualidad y observar si han sido de gran beneficio para la humanidad.

## 6. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se implementará para realizar este proyecto será el descriptivo; puesto que, el objetivo de esta investigación es describir el mejoramiento que se puede realizar al momento de implementar una función matemática y la búsqueda de una mejor solución basados en la utilización de algoritmos genéticos.

## 7. GLOSARIO

**ALGORITMO:** Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

**INTELIGENCIA:** Capacidad de entender o comprender y resolver problemas.

**ARTIFICIAL:** Hecho por mano o arte del hombre.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL:** Se define la inteligencia artificial como aquella inteligencia exhibida por artefactos creados por humanos (es decir, artificial). A menudo se aplica hipotéticamente a los computadores. El nombre también se usa para referirse al campo de la investigación científica que intenta acercarse a la creación de tales sistemas.

**INDIVIDUO:** una potencial solución al problema.

**POBLACIÓN:** conjunto de individuos que componen una generación.

**ADAPTACIÓN:** función que permite valorar “como de bueno” es un individuo.

**MUTACION:** Alteración o cambio en la información genética de un ser vivo y que, por lo tanto, va a producir un cambio de una o varias características, que se presenta súbita y espontáneamente, y que se puede transmitir o heredar a la descendencia. La unidad genética capaz de mutar es el gen que es la unidad de información hereditaria que forma parte del ADN.

La mutación es una permutación en un bit en un lugar aleatorio (o, en el caso de alfabetos largos, remplazar el símbolo de un lugar escogido aleatoriamente con un símbolo nuevo escogido también aleatoriamente).

**RECOMBINACIÓN GENÉTICA:** Formación de una nueva combinación genética resultante del cambio recíproco entre cromosomas homólogos.

**CROMOSOMA:** Material hereditario cuya principal función es conservar, transmitir y expresar la información genética que contiene. La especie humana tiene 46 cromosomas (23 pares).

Un cromosoma es una cadena que codifica la información de cada solución, que proviene de la idea que hemos descrito antes de *una larga molécula de ADN* y por tanto con información genética del descendiente. La cadena generalmente es binaria, aunque se han usado también números reales o letras en vectores.

Los cromosomas son los portadores de los genes que podemos ver como un bit, o en otros casos como bloques cortos de bits adyacentes que codifican un elemento particular del candidato a solución.

**CRUCE:** La idea principal del cruce se basa en que, si se toman dos individuos correctamente adaptados al medio y se obtiene una descendencia que comparta genes de ambos, existe la posibilidad de que los genes heredados sean precisamente los causantes de la bondad de los padres. Al compartir las características buenas de dos individuos, la descendencia, o al menos parte de ella, deberá tener una bondad mayor que cada uno de los padres por separado. Si el cruce no agrupa las mejores características en uno de los hijos y la descendencia tiene un peor ajuste que los padres no significa que se esté dando un paso atrás.

Optando por una estrategia de cruce no destructiva garantizamos que pasen a la siguiente generación los mejores individuos. Si, aun con un ajuste peor, se opta por insertar a la descendencia, y puesto que los genes de los padres continuaran en la población, aunque dispersos y posiblemente levemente modificados por la mutación, en posteriores cruces se podrán volver a obtener estos padres, recuperando así la bondad previamente perdida.

**FITNESS:** Es la función que mide la adaptación del individuo. Se utiliza para evaluar la calidad del gen.

**EVOLUCIÓN:** Teoría biológica que admite la transformación progresiva de las especies.

**FENOTIPO:** Aspecto físico de un organismo.

**GENOTIPO:** Conjunto de genes que determinan una característica.

**SELECCIÓN NATURAL:** Supervivencia de las especies mejor adaptadas.

## 8. ESTADO DEL ARTE

INSTITUCIÓN	PROYECTO
REALIZADO POR: ADRIÁN JUAN VERDEJO	INTELIGENCIA ARTIFICIAL II ALGORITMOS GENÉTICOS.
L. RECALDE – C.P.S	ESQUEMAS ALGORÍTMICOS ALGORITMOS GENÉTICOS.
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO	ALGORÍTMOS GENÉTICOS.
REALIZADO POR: MIGUEL ÀNGEL MUÑOZ PÈREZ	ALGORÍTMOS GENÉTICOS.



## 10. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

### 10.1. PROCEDIMIENTO DE UN ALGORITMO GENÉTICO APLICANDO LA FUNCION CUADRATICA $F(x)=x^2$

Se inicia con una función sencilla, en este caso  $F(x)=x^2$ .

1. Deseamos encontrar el valor de  $x$  que hace la función  $F(x)$  alcance su valor máximo. A  $x$  le permitiremos tomar sólo valores enteros.
2. Debemos encontrar la manera de codificar las posibles soluciones (posibles valores de  $x$ ). Una manera de hacerlo es con la codificación binaria. Con esta codificación un posible valor de  $x$  es (0,0,1,1,0).
3. Para hallar el valor de  $x$  procedemos a multiplicar de derecha a izquierda cada uno de los componentes de la población; el primero (un 0) lo multiplicamos por uno (1), el segundo (un 1) por dos (2), el tercero (un 1) por cuatro (4), el cuarto (un 0) por ocho (8), y el quinto (un 0) por dieciséis (16).
4. A cada posible valor de la variable  $x$  le vamos a llamar en representación binaria individuo. Una colección de individuos constituye una población y el número de individuos que la componen es el tamaño de la población.
5. Ya codificada la solución debemos escoger un tamaño de población. En este caso escogimos un tamaño de 6 individuos.
6. Debemos partir de una población inicial. La generamos de manera aleatoria, puede ser lanzando una moneda como lo hicimos en éste caso.
7. Luego de generar los individuos con una longitud de 5, hacemos competir los individuos entre sí. Este proceso se conoce como selección. La tabla uno resume el proceso.

**TABLA 1. SELECCIÓN**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	(0,0,1,1,0)	6	36	6
2	(0,1,1,1,0)	14	196	4
3	(0,0,1,0,0)	4	16	5
4	(0,0,1,1,1)	7	49	2
5	(1,0,0,1,1)	19	361	3
6	(1,0,1,0,0)	20	400	1

Cada fila en la tabla 1 está asociada a un individuo de la población inicial. El significado de cada columna en la tabla es el siguiente:

- (1): Número que le asignamos al individuo.
- (2): Individuo en codificación binaria.
- (3): Valor de  $x$ .
- (4): Valor de  $F(x)$ .
- (5): La pareja asignada a cada individuo para realizar un torneo.

8. Ahora realizaremos un torneo entre cada individuo y la pareja asignada a éste; la asignación de la pareja a cada individuo se hizo de manera aleatoria. De éste torneo seleccionaremos al mejor individuo y haremos un clon.
9. Después de realizar la selección la población que tenemos es la mostrada en la columna 2 de la tabla 2.

**TABLA 2. CRUCE**

(1)	(2)	(3)	(4)
1	(1,0,1,0,0)	3	2
2	(1,0,1,0,0)	5	3
3	(0,1,1,1,0)	1	2
4	(0,1,1,1,0)	6	1
5	(1,0,0,1,1)	2	3
6	(1,0,0,1,1)	4	1

El significado de cada columna en la tabla 2 es el siguiente:

- (1): Número que le asignamos al individuo.
- (2): Individuo en codificación binaria después de realizar la selección.
- (3): Asignación del individuo con el cual se va a realizar el cruce.
- (4): Punto de cruce.

10. Tras la selección se realiza el cruce. Una manera de hacerlo es mediante el cruce 1X: se forman parejas entre los individuos aleatoriamente de forma similar a la selección.

11. Dados dos individuos pareja se establece un punto de cruce aleatorio, que no es más que un número aleatorio entre 1 y 4 (la longitud del individuo menos 1). Por ejemplo, en la pareja 2-5 el punto de cruce es 3, lo que significa que el primer hijo de la pareja conserva los tres primeros bits del padre y hereda los dos últimos de la madre, mientras que el segundo hijo de la pareja conserva los tres primeros bits de la madre y hereda los dos últimos del padre. La población resultante se muestra en la columna 2 de la tabla 3.

**TABLA 3. POBLACION TRAS EL CRUCE**

(1)	(2)	(3)	(4)
1	(1,0,1,1,0)	22	484
2	(0,1,1,0,0)	12	144
3	(1,0,1,1,1)	23	529
4	(1,0,0,0,0)	16	256
5	(0,0,0,1,1)	3	9
6	(1,1,1,1,0)	30	900

El significado de cada columna en la tabla 3 es el siguiente:

- (1): Número que le asignamos al individuo.

(2): Individuo en codificación binaria después del cruce.

(3): Valor de  $x$ .

(4): Valor de  $F(x)$ .

12. Se seleccionan los dos individuos más aptos para su reproducción.

**TABLA 4. MEJORES INDIVIDUOS SELECCIONADOS**

(1)	(2)	(3)	(4)
1	(1,0,1,1,1)	23	529
2	(1,1,1,1,0)	30	900

El significado de cada columna en la tabla 4 es el siguiente:

(1): Número que le asignamos al individuo.

(2): Individuo en codificación binaria.

(3): Valor de  $x$ .

(4): Valor de  $F(x)$ .

## EJEMPLO 2. INTERPRETACIÓN

**TABLA 1. SELECCIÓN**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	(1,0,1,1,0)	22	484	3
2	(0,1,1,1,0)	14	196	5
3	(1,0,0,1,1)	19	361	1
4	(0,0,0,1,0)	2	4	6
5	(0,1,1,0,0)	12	144	2
6	(1,1,0,0,0)	24	576	4

Significado de cada columna en la tabla de selección:

(1): Número asignado a cada individuo.

(2): Individuos codificados en numeración binaria.

(3): Valor de X.

(4): Valor de  $F(x)=X^2$ .

(5): Pareja asignada a cada individuo de manera aleatoria para el torneo.

Para hallar el valor de X multiplicamos cada uno de los bits del individuo, de derecha a izquierda, el primero por uno y los siguientes por el doble del anterior, hasta llegar al último bit del individuo.

- Procedimiento para hallar el valor de X:

Individuo 1:

1	0	1	1	0
x	x	x	x	x
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
16	0	4	2	0

→ El valor de X es igual a 22

Individuo 2:

0	1	1	1	0
x	x	x	x	x
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
0	8	4	2	0

→ El valor de X es igual a 14

Individuo 3:

1	0	0	1	1
x	x	x	x	x
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
16	0	0	2	1

→ El valor de X es igual a 19

Individuo 4:

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

x	x	x	x	X
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
0	0	0	2	0

El valor de X es igual a 2

**Individuo 5:**

0	1	1	0	0
x	x	x	x	x
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
0	8	4	0	0

El valor de X es igual a 12

**Individuo 6:**

1	1	0	0	0
x	x	x	x	x
16	8	4	2	1
=	=	=	=	=
16	8	0	0	0

El valor de X es igual a 24

Luego de hallar el valor de X, multiplicamos a éste valor por sí mismo para hallar el valor de  $F(x)=X^2$ , para llenar la columna (4).

En la columna (5) asignamos una pareja a cada individuo para realizar un torneo entre éstos y seleccionar al que tenga mayor valor de  $F(x)$ , es decir, a los mejores individuos y a estos se les hace una copia. Por ejemplo, en el torneo entre el individuo 1 y 3, se escogió como mejor individuo el 1 ya que tiene mayor valor en  $F(x)$ .

Procedemos a llenar la segunda tabla que corresponde al cruce.

**TABLA 2. CRUCE**

(1)	(2)	(3)	(4)
1	(1,0,1,1,0)	6	3
2	(1,0,1,1,0)	4	2
3	(0,1,1,1,0)	3	1
4	(0,1,1,1,0)	2	2
5	(1,1,0,0,0)	5	1
6	(1,1,0,0,0)	1	3

Significado de cada columna en la tabla de cruce:

- (1): Número asignado a cada individuo.
- (2): Individuos codificado en numeración binaria.
- (3): Pareja asignada a cada individuo para realizar el cruce.
- (4): Punto de cruce.

Después de haber realizado el torneo llenamos la tabla de cruce con los individuos seleccionados y le realizamos una copia a cada uno de manera que la población queda con la misma cantidad de individuos que al iniciar la selección.

El siguiente paso es asignarle una pareja a cada individuo para realizar el cruce; se hace de manera similar a la asignación de pareja para el torneo, de manera aleatoria. Debemos tener en cuenta que para hacer el cruce las parejas no deben ser iguales.

Dados los individuos pareja se establece un punto de cruce aleatorio que no es más que un número aleatorio entre 1 y 4 (la longitud del individuo menos 1). Por ejemplo, en la pareja 1-6 el punto de cruce es 3, lo que significa que el primer hijo conserva los tres primeros bits del padre y hereda los dos últimos de la madre,

mientras que el segundo hijo conserva los tres primeros bits de la madre y hereda los dos últimos del padre.

Cruce entre individuos:

Pareja 1-6: Punto de cruce=3.

Padre

A	B	C	D	E
1	0	1	1	0

Madre

1	2	3	4	5
1	1	0	0	0

Primer hijo

A	B	C	4	5
1	0	1	0	0

Segundo hijo

1	2	3	D	E
1	1	0	1	0

Pareja 2-4: Punto de cruce=2.

Padre

A	B	C	D	E
1	0	1	1	0

Madre

1	2	3	4	5
0	1	1	1	0

Primer hijo

A	B	3	4	5
1	0	1	1	0

Segundo hijo

1	2	C	D	E
0	1	1	1	0

Pareja 3-5: Punto de cruce=1.

Padre

A	B	C	D	E
0	1	1	1	0

Madre

1	2	3	4	5
1	1	0	0	0

Primer hijo

A	B	C	4	5
0	1	0	0	0

Segundo hijo

1	2	3	D	E
1	1	1	1	0

Ahora procedemos a organizar la tercera tabla que corresponde a la población tras el cruce.

**TABLA 3. POBLACION TRAS EL CRUCE**

(1)	(2)	(3)	(4)
1	(1,0,1,0,0)	20	400
2	(1,1,0,1,0)	26	676
3	(1,0,1,1,0)	24	576
4	(0,1,1,1,0)	14	196
5	(0,1,0,0,0)	8	64
6	(1,1,1,1,0)	30	900

Significado de cada una de las columnas en la Tabla 3:

(1): Número que se le asignó a cada individuo.

(2): Individuos en codificación binaria.

(3): Valor de X.

(4): Valor de F(x).

Luego de llenar la tercera tabla de la población tras el cruce, hallamos nuevamente los valores de X y F(x) para seleccionar los dos mejores individuos.

De la tercera tabla se tiene que los dos mejores individuos son el individuo 6 y el individuo 2.

**TABLA 4. POBLACION FINAL**

(1)	(2)	(3)	(4)
2	(1,1,0,1,0)	26	676
6	(1,1,1,1,0)	30	900

En la tabla final se muestran los dos mejores individuos.

Significado de cada una de las columnas en la Tabla 4:

(1): Número que se le asignó a cada individuo.

(2): Individuos en codificación binaria, individuos mas aptos.

(3): Valor de X.

(4): Valor de F(x).

## 10.2. CODIGO DE LA APLICACIÓN

```
Dim VecPobla() As Long
Dim VecResFx() As Long 'VALOR DE X Y F(x)
Dim VecResFxFinal() As Long
Dim vecMejPobCrusada() As Long
Dim VecPoblaCruce() As Long
Dim VecPobMadPadFin() As Long
Dim VecCantGen() As Long 'CANTIDAD DE GENES PARA EL CRUCE DEL PADRE Y MADRE
```

```
Dim SwAlea As Boolean
```

```
Private Sub ENCABEZADO_POBLACION_INICIAL() 'COLOCA EL ENCABEZADO AL CARGAR EL
FORMULARIO Y LIMPIAR. LAS TABLAS
```

```
'INI Seleccion de individuos
```

```
Me.msResPoblacionIni.Cols = 4
```

```
Me.msResPoblacionIni.Rows = 2
```

```
Me.msResPoblacionIni.Row = 0
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColWidth(0) = 600
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColAlignment(0) = 1
```

```
Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(0, 0) = "Nro"
```

```
Me.msResPoblacionIni.Row = 0
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColWidth(1) = 2100
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColAlignment(1) = 1
```

```
Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(0, 1) = "Individuos"
```

```
Me.msResPoblacionIni.Row = 0
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColWidth(2) = 1000
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColAlignment(1) = 1
```

```
Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(0, 2) = "Valor X"
```

```
Me.msResPoblacionIni.Row = 0
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColWidth(3) = 1000
```

```
Me.msResPoblacionIni.ColAlignment(1) = 1
```

```
Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(0, 3) = "Valor F(x)"
```

```
Me.msFResPoblacionIni.Row = 1
Me.msFResPoblacionIni.TextMatrix(1, 0) = ""
Me.msFResPoblacionIni.TextMatrix(1, 1) = ""
Me.msFResPoblacionIni.TextMatrix(1, 2) = ""
Me.msFResPoblacionIni.TextMatrix(1, 3) = ""
'FIN Seleccion de individuos
```

```
'INI Cruce de Población
Me.msFPoblaCruce.Cols = 4
Me.msFPoblaCruce.Rows = 2
```

```
Me.msFPoblaCruce.Row = 0
Me.msFPoblaCruce.CoWidth(0) = 600
Me.msFPoblaCruce.CoAlignment(0) = 1
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(0, 0) = "Nro"
```

```
Me.msFPoblaCruce.Row = 0
Me.msFPoblaCruce.CoWidth(1) = 2100
Me.msFPoblaCruce.CoAlignment(1) = 1
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(0, 1) = "Individuos"
```

```
Me.msFPoblaCruce.Row = 0
Me.msFPoblaCruce.CoWidth(2) = 1000
Me.msFPoblaCruce.CoAlignment(2) = 1
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(0, 2) = "Cruce"
```

```
Me.msFPoblaCruce.Row = 0
Me.msFPoblaCruce.CoWidth(3) = 1000
Me.msFPoblaCruce.CoAlignment(3) = 1
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(0, 3) = "Gen(es)"
```

```
Me.msFPoblaCruce.Row = 1
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(1, 0) = ""
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(1, 1) = ""
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(1, 2) = ""
Me.msFPoblaCruce.TextMatrix(1, 3) = ""
'FIN Cruce de Población
```

'INI Población Tras el Cruce

Me.msResPoblacionFin.Cols = 4

Me.msResPoblacionFin.Rows = 2

Me.msResPoblacionFin.Row = 0

Me.msResPoblacionFin.ColWidth(0) = 600

Me.msResPoblacionFin.ColAlignment(0) = 1

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(0, 0) = "Nro"

Me.msResPoblacionFin.Row = 0

Me.msResPoblacionFin.ColWidth(1) = 2100

Me.msResPoblacionFin.ColAlignment(1) = 1

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(0, 1) = "Individuos"

Me.msResPoblacionFin.Row = 0

Me.msResPoblacionFin.ColWidth(2) = 1000

Me.msResPoblacionFin.ColAlignment(2) = 1

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(0, 2) = "Valor X"

Me.msResPoblacionFin.Row = 0

Me.msResPoblacionFin.ColWidth(3) = 1000

Me.msResPoblacionFin.ColAlignment(3) = 1

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(0, 3) = "Valor F(X)"

Me.msResPoblacionFin.Row = 1

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(1, 0) = ""

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(1, 1) = ""

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(1, 2) = ""

Me.msResPoblacionFin.TextMatrix(1, 3) = ""

'FIN Población Tras el Cruce

'INI Selección de los Mejores Individuos

Me.msResPoblacionMejInd.Cols = 4

Me.msResPoblacionMejInd.Rows = 2

Me.msResPoblacionMejInd.Row = 0

Me.msResPoblacionMejInd.ColWidth(0) = 600

Me.msResPoblacionMejInd.ColAlignment(0) = 1

Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(0, 0) = "Nro"

```
Me.msfrResPoblacionMejInd.Row = 0
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColWidth(1) = 2100
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColAlignment(1) = 1
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(0, 1) = "Individuos"
```

```
Me.msfrResPoblacionMejInd.Row = 0
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColWidth(2) = 1000
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColAlignment(2) = 1
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(0, 2) = "Valor X"
```

```
Me.msfrResPoblacionMejInd.Row = 0
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColWidth(3) = 1000
Me.msfrResPoblacionMejInd.ColAlignment(3) = 1
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(0, 3) = "Valor F(X)"
```

```
Me.msfrResPoblacionMejInd.Row = 1
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(1, 0) = ""
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(1, 1) = ""
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(1, 2) = ""
Me.msfrResPoblacionMejInd.TextMatrix(1, 3) = ""
'FIN Selección de los Mejores Individuos
```

End Sub

```
Private Sub btAleatorio_Click()
```

```
Dim Iter As Long, Pobra As Long, GruPobra As Long
```

```
If (NUM_PAR(Val(Me.txtNroGrupoPoblacion.Text))) Then
```

```
SwAlea = True
```

```
Iter = Val(Me.txtIteraciones.Text) 'NUMERO DE ITERACIONES
```

```
Pobra = Val(Me.txtNroPoblacion.Text) 'NUMERO DE GENES DEL INDIVIDUO
```

```
GruPobra = Val(Me.txtNroGrupoPoblacion.Text) 'NUMERO DE LA POBLACION
```

```
'ESTE PROCEDIMIENTO QUE CREA LOS INDIVIDUOS ALEATORIAMENTE
```

```
Call GENERAR_POBLACION(Iter, Pobra, GruPobra)
```

```
'Call GENERAR_POBLACION1(Iter, Pobra, GruPobra)
```

```
Else
```

```
MsgBox "El Nro de Individuos Tiene que ser par y Mayor de 2", vbCritical, "Mensaje"
```

```

End If

End Sub

Private Function NUM_PAR(NumValid As Long) As Boolean
    'VERIFICAR SI UN NUEMRO ES PAR Ó NO ES PAR
    If ((NumValid Mod 2) = 0 And NumValid > 3) Then
        NUM_PAR = True
    Else
        NUM_PAR = False
    End If
End Function

Private Sub SELECCION_MEJORES_INDIVIDUOS(GruPoblacion As Long, Poblacion As Long)
    Dim MitPobla As Long
    Dim vecMejorPobla() As Long
    Dim C As Long

    MitPobla = Round((GruPoblacion / 2), 0) 'LA MITAD DE LA POBLACION

    ReDim vecMejorPobla(1 To GruPoblacion, 0 To 2) 'MATRIZ QUE CONTIENE X y F(X)
    ReDim vecMejPobCrusada(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion) 'CRUSE DE POBLACION
    'ReDim vecMejPoblaSel(1 To MitPobla) '

    Dim Num0 As Long, Num1 As Long, Num2 As Long

    'COPIA DE X Y F(X)
    For i = 1 To GruPoblacion Step 1
        vecMejorPobla(i, 0) = i
        vecMejorPobla(i, 1) = VecResFx(i, 1)
        vecMejorPobla(i, 2) = VecResFx(i, 2)
    Next

    'ESCOGENCIA DE LOS MEJORES INDIVIDUOS

    'ORDENA LA MATRIZ QUE CONTIENE POBLACION POR F(x) ASCENDENTEMENTE
    For i = 1 To (GruPoblacion - 1) Step 1
        For j = (i + 1) To GruPoblacion Step 1

```

```

If vecMejorPobla(i, 2) < vecMejorPobla(j, 2) Then
  Num0 = vecMejorPobla(i, 0)
  Num1 = vecMejorPobla(i, 1)
  Num2 = vecMejorPobla(i, 2)

  vecMejorPobla(i, 0) = vecMejorPobla(j, 0)
  vecMejorPobla(i, 1) = vecMejorPobla(j, 1)
  vecMejorPobla(i, 2) = vecMejorPobla(j, 2)

  vecMejorPobla(j, 0) = Num0
  vecMejorPobla(j, 1) = Num1
  vecMejorPobla(j, 2) = Num2
End If
Next
Next

'SE SELECCIONA LA MITAD DE LA POBLACION QUE TIENEN LOS MEJORES VALORES DE F(x)
ASCENDENTEMENTE
K = 1
For i = 1 To (MitPobla) Step 1
  For j = 1 To GruPoblacion
    If (vecMejorPobla(i, 0) = j) Then
      For C = 1 To Poblacion Step 1
        vecMejPobCrusada(K, C) = VecPobla(j, C) 'VALOR DE LOS MEJORES INDIVIDUOS DE LA
POBLACION
        vecMejPobCrusada(K + 1, C) = VecPobla(j, C) 'COPIA VALOR DE LOS MEJORES INDIVIDUOS
DE LA POBLACION
      Next
      K = K + 2
    End If
  Next
Next

'GENERAR CRUCE DE INDIVIDUOS
Call GENERAR_CRUCE(GruPoblacion)

SwEsc = 0
Do While C <> 2
  For i = 1 To (GruPoblacion) Step 2

```

```

        If (VecPoblaCruce(i, 1) = i And VecPoblaCruce(i, 2) = i + 1) Then
            SwEsc = 1
        End If
    Next

    If (SwEsc = 0) Then
        C = 2
    Else
        Call GENERAR_CRUCE(GruPoblacion)
        SwEsc = 0
    End If
Loop

Me.msfPoblaCruce.Cols = 4
Me.msfPoblaCruce.Rows = 1

'MOSTRAR CRUCE DE INDIVIDUOS
Me.txtres.Text = Me.txtres.Text & vbCrLf & vbCrLf
For i = 1 To (GruPoblacion) Step 1
    Me.msfPoblaCruce.Rows = Me.msfPoblaCruce.Rows + 1
    Me.msfPoblaCruce.Row = i
    Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 0) = VecPoblaCruce(i, 1)

    Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 1) = ""
    For j = 1 To (Poblacion) Step 1
        Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 1) = Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 1) & vecMejPobCrusada(i, j)
    Next
    Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 2) = VecPoblaCruce(i, 2)
    Me.msfPoblaCruce.TextMatrix(i, 3) = VecPoblaCruce(i, 3)
Next

End Sub

Private Sub GENERAR_CRUCE(GruPoblacion As Long)
    Dim i, j, C As Long
    Dim RespTmp, RespTmp1, Resp As Long
    ReDim VecPoblaCruce(1 To GruPoblacion, 1 To 3) 'VECTOR DE CRUCE DE POBLACION

    Dim MitPobla As Long

```

```

Dim CantGen As Long
MitPobla = Round((GruPoblacion / 2), 0) 'LA MITAD DE LA POBLACION
ReDim VecCantGen(1 To MitPobla)
CantGen = (Val(Me.txtNroPoblacion.Text) - 1) 'CANTIDAD DE GENES - 1

For i = 1 To MitPobla Step 1
    C = 0
    Do While C <> 1
        C = 0
        Randomize
        RespTmp = Int((Rnd * GruPoblacion) + 1)
        RespTmp1 = Int((Rnd * GruPoblacion) + 1)

        For j = 1 To GruPoblacion Step 1
            If (VecPoblaCruce(j, 2) = RespTmp Or VecPoblaCruce(j, 2) = RespTmp1 Or RespTmp1 = RespTmp)
            Then C = 2

                If (j = GruPoblacion And C = 0) Then C = 1
            Next
        Loop
        RCanGenTmp = Int((Rnd * CantGen) + 1)

        VecCantGen(i) = RCanGenTmp

        VecPoblaCruce(RespTmp, 1) = RespTmp
        VecPoblaCruce(RespTmp, 2) = RespTmp1
        VecPoblaCruce(RespTmp, 3) = VecCantGen(i)

        VecPoblaCruce(RespTmp1, 1) = RespTmp1
        VecPoblaCruce(RespTmp1, 2) = RespTmp
        VecPoblaCruce(RespTmp1, 3) = VecCantGen(i)
    Next
Next

End Sub

Private Sub GENERAR_POBLACION1(Iterac As Long, Poblacion As Long, GruPoblacion As Long)
    ReDim VecPobla(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion)
    Dim ValPobla As Long

```

```

VecPobla(1, 1) = 0: VecPobla(1, 2) = 0: VecPobla(1, 3) = 1: VecPobla(1, 4) = 1: VecPobla(1, 5) = 0
VecPobla(2, 1) = 0: VecPobla(2, 2) = 1: VecPobla(2, 3) = 1: VecPobla(2, 4) = 1: VecPobla(2, 5) = 0
VecPobla(3, 1) = 0: VecPobla(3, 2) = 0: VecPobla(3, 3) = 1: VecPobla(3, 4) = 0: VecPobla(3, 5) = 0
VecPobla(4, 1) = 0: VecPobla(4, 2) = 0: VecPobla(4, 3) = 1: VecPobla(4, 4) = 1: VecPobla(4, 5) = 1
VecPobla(5, 1) = 1: VecPobla(5, 2) = 0: VecPobla(5, 3) = 0: VecPobla(5, 4) = 1: VecPobla(5, 5) = 1
VecPobla(6, 1) = 1: VecPobla(6, 2) = 0: VecPobla(6, 3) = 1: VecPobla(6, 4) = 0: VecPobla(6, 5) = 0

```

```

ReDim VecResFx(1 To GruPoblacion, 1 To 2) 'MATRIZ DE LA POBLACION INICIAL

```

```

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

```

```

    SaPobla = 0

```

```

    For j = Poblacion To 1 Step -1

```

```

        If (j = Poblacion) Then

```

```

            NumMult = 1

```

```

        Else

```

```

            NumMult = NumMult * 2

```

```

        End If

```

```

        SaPobla = SaPobla + (VecPobla(i, j) * NumMult) 'EL VALOR X DEL INDIVIDUO

```

```

    Next

```

```

    VecResFx(i, 1) = SaPobla

```

```

    VecResFx(i, 2) = SaPobla * SaPobla 'EL VALOR F(X) DEL INDIVIDUO

```

```

Next

```

```

Me.msResPoblacionIni.Cols = 4

```

```

Me.msResPoblacionIni.Rows = 1

```

```

'MUESTRA LA POBLACION

```

```

'Me.txtResPoblacionIni.Text = ""

```

```

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

```

```

    Me.msResPoblacionIni.Rows = Me.msResPoblacionIni.Rows + 1

```

```

    Me.msResPoblacionIni.Row = i

```

```

    Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 0) = i

```

```

    For j = 1 To Poblacion Step 1

```

```

        Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 1) = Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 0) & VecPobla(i, j)

```

```

    Next

```

```

    Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 2) = VecResFx(i, 1)

```

```

    Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 3) = VecResFx(i, 2)

```

```

Next

```

End Sub

Private Sub GENERAR\_POBLACION(Iterac As Long, Poblacion As Long, GruPoblacion As Long)

ReDim VecPobla(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion)

Dim ValPobla As Long

Dim SaPobla As Long

'CREA LOS GENES ALEATORIAMENTE

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

For j = 1 To Poblacion Step 1

Randomize

ValPobla = Int((Rnd \* 2) + 0) 'GENERAR GENES 0 o 1

VecPobla(i, j) = ValPobla 'VECTOR INICIAL DE LA POBLACION DE LOS INDIVIDUOS

Next

Next

ReDim VecResFx(1 To GruPoblacion, 1 To 2) 'MATRIZ DE LA POBLACION INICIAL

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

SaPobla = 0

For j = Poblacion To 1 Step -1

If (j = Poblacion) Then

NumMult = 1

Else

NumMult = NumMult \* 2

End If

SaPobla = SaPobla + (VecPobla(i, j) \* NumMult) 'EL VALOR X DEL INDIVIDUO

Next

VecResFx(i, 1) = SaPobla

VecResFx(i, 2) = SaPobla \* SaPobla 'EL VALOR F(X) DEL INDIVIDUO

Next

Me.msResPoblacionIni.Cols = 4

Me.msResPoblacionIni.Rows = 1

'INSERTA LOS DATOS DE LA POBLACION DE LOS INDIVIDUOS EN LA TABLA

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

Me.msResPoblacionIni.Rows = Me.msResPoblacionIni.Rows + 1

Me.msResPoblacionIni.Row = i

Me.msResPoblacionIni.TextMatrix(i, 0) = i

```

For j = 1 To Poblacion Step 1
    Me.msfResPoblacionIni.TextMatrix(i, 1) = Me.msfResPoblacionIni.TextMatrix(i, 1) & VecPobla(i, j)
Next

Me.msfResPoblacionIni.TextMatrix(i, 2) = VecResFx(i, 1)
Me.msfResPoblacionIni.TextMatrix(i, 3) = VecResFx(i, 2)
Next
End Sub

Private Sub GENERAR_SEIECCION_2(Poblacion As Long, GruPoblacion As Long, VecPoblacion() As Long)

Dim SaPobla As Long
ReDim VecResFx(1 To GruPoblacion, 1 To 2) 'MATRIZ DE LA POBLACION INICIAL
For i = 1 To GruPoblacion Step 1
    SaPobla = 0
    For j = Poblacion To 1 Step -1
        If (j = Poblacion) Then
            NumMult = 1
        Else
            NumMult = NumMult * 2
        End If
        SaPobla = SaPobla + (VecPoblacion(i, j) * NumMult) 'EL VALOR X DEL INDIVIDUO
    Next

    VecResFx(i, 1) = SaPobla
    VecResFx(i, 2) = SaPobla * SaPobla 'EL VALOR F(X) DEL INDIVIDUO
Next

End Sub

Private Sub GENERAR_SEIECCION_2_FINAL(Poblacion As Long, GruPoblacion As Long, VecPoblacion() As
Long)
Dim SaPobla As Long
ReDim VecResFxFinal(1 To GruPoblacion, 1 To 2) 'MATRIZ DE LA POBLACION INICIAL
For i = 1 To GruPoblacion Step 1
    SaPobla = 0
    For j = Poblacion To 1 Step -1
        If (j = Poblacion) Then

```

```

        NumMult = 1
    Else
        NumMult = NumMult * 2
    End If
    SaPobla = SaPobla + (VecPoblacion(i, j) * NumMult) 'EL VALOR X DEL INDIVIDUO
Next
VecResFxFinal(i, 1) = SaPobla
VecResFxFinal(i, 2) = SaPobla * SaPobla 'EL VALOR F(X) DEL INDIVIDUO
Next
End Sub

Private Sub GENERAR_POBLACION_FINAL(Iterac As Long, Poblacion As Long, GruPoblacion As Long,
VecPoblacion() As Long)
    Me.txtResPoblacionFinal.Text = ""
    For i = 1 To GruPoblacion Step 1
        Me.txtResPoblacionFinal.Text = Me.txtResPoblacionFinal.Text & i & ". "
        For j = 1 To Poblacion Step 1
            Me.txtResPoblacionFinal.Text = Me.txtResPoblacionFinal.Text & VecPoblacion(i, j) & " "
        Next
        Me.txtResPoblacionFinal.Text = Me.txtResPoblacionFinal.Text & "" & VecResFx(i, 1) & "" & VecResFx(i,
2) & vbCrLf
    Next
End Sub

Private Sub btGenerar_Click()
    If (SwAlea = True) Then
        Dim Iter As Long, Pobla As Long, GruPobla As Long
        SwAlea = False

        Iter = Val(Me.txtIteraciones.Text) 'NUMERO DE ITERACIONES
        Pobla = Val(Me.txtNroPoblacion.Text) 'NUMERO DE GENES DEL INDIVIDUO
        GruPobla = Val(Me.txtNroGrupoPoblacion.Text) 'NUMERO DE LA POBLACION

        For i = 1 To Val(Me.txtIteraciones.Text) Step 1
            If (i <> 1) Then
                Call DUPLICAR_MATRIZ(Pobla, GruPobla)
            End If

            'ESTE PROCEDIMIENTO QUE CREA X Y F(X) DE CADA INDIVIDUO

```

```

Call GENERAR_SEIECCION_2(Pobla, GruPobla, VecPobla())

'MUESTRA LA POBLACION DE X Y F(X)
Call GENERAR_POBLACION_FINAL(Iter, Pobla, GruPobla, VecPobla())

'SELECCION DE LOS MEJORES INDIVIDUOS
Call SELECCION_MEJORES_INDIVIDUOS(GruPobla, Pobla)

'GENERAR PADRE Y MADRE
Call GENERAR_PADRE_MADRE(GruPobla, Pobla)
Next

'SELECCIONA LOS MEJORES INDIVIDUOS CUANDO TERMINA TODO EL PROCESO
Call MEJORES_INDIVIDUOS_FINAL(GruPobla, Pobla)
Else
MsgBox "Se debe Presionar Primero botón 'Aleatorio' para generar la Población", vbExclamation,
"Mensaje"
End If
End Sub

Private Sub DUPLICAR_MATRIZ(Poblacion As Long, GruPoblacion As Long)
'CREA LOS GENES ALEATORIAMENTE
For i = 1 To GruPoblacion Step 1
For j = 1 To Poblacion Step 1
VecPobla(i, j) = VecPobMadPadFin(i, j)
Next
Next
End Sub

Private Sub GENERAR_PADRE_MADRE(GruPoblacion, Poblacion)
Dim MitPobla As Long, C As Long, G As Long
Dim VecPobFinTmp() As Long, VecPobFinTmp1() As Long
Dim VecIndCru() As Long

Dim Num0 As Long, Num1 As Long, Num2 As Long

ReDim VecPobFinTmp(1 To GruPoblacion, 1 To 3)
ReDim VecPobFinTmp1(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion)
ReDim VecPobMadPadFin(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion)

```

ReDim VecIndCru(1 To GruPoblacion)

MitPobla = Round((GruPoblacion / 2), 0) 'MITAD DE LA POBLACION

C = 1

j = 0

'ESCOJER LOS GENES DEL PADRE Y LA MADRE

Do While C <> MitPobla + 1

    G = 1

    i = 1

    Do While G <> 3

        If (VecCantGen(C) = VecPoblaCruce(i, 3)) Then

            If (G = 2) Then

                j = j + 1

                If (VecPoblaCruce(Num0, 1) < VecPoblaCruce(i, 1)) Then

                    For K = 1 To Poblacion

                        If (K <= VecCantGen(C)) Then

                            VecPobMadPadFin(j - 1, K) = vecMejPobCrusada(Num0, K)

                            VecPobMadPadFin(j, K) = vecMejPobCrusada(i, K)

                        Else

                            VecPobMadPadFin(j - 1, K) = vecMejPobCrusada(i, K)

                            VecPobMadPadFin(j, K) = vecMejPobCrusada(Num0, K)

                        End If

                    Next

                End If

            Else

                Num0 = i

                j = j + 1

            End If

        G = G + 1

    End If

    i = i + 1

Loop

    C = C + 1

Loop

Me.txtresCrusado.Text = Me.txtresCrusado.Text & vbCrLf

```

For i = 1 To GruPoblacion Step 1
  For j = 1 To Poblacion Step 1
    Me.txtresCrusado.Text = Me.txtresCrusado.Text & VecPobMadPadFin(i, j)
  Next
  Me.txtresCrusado.Text = Me.txtresCrusado.Text & vbCrLf
Next

Me.msfResPoblacionFin.Cols = 4
Me.msfResPoblacionFin.Rows = 1

Dim Iter As Long, Pobla As Long, GruPobla As Long

Pobla = Val(Me.txtNroPoblacion.Text) 'NUMERO DE GENES DEL INDIVIDUO
GruPobla = Val(Me.txtNroGrupoPoblacion.Text) 'NUMERO DE LA POBLACION

Call GENERAR_SEIECCION_2_FINAL(Pobla, GruPobla, VecPobMadPadFin())

For i = 1 To GruPoblacion Step 1
  Me.msfResPoblacionFin.Rows = Me.msfResPoblacionFin.Rows + 1
  Me.msfResPoblacionFin.Row = i
  Me.msfResPoblacionFin.TextMatrix(i, 0) = i

  For j = 1 To Poblacion Step 1
    Me.msfResPoblacionFin.TextMatrix(i, 1) = Me.msfResPoblacionFin.TextMatrix(i, 1) &
VecPobMadPadFin(i, j)
  Next
  Me.msfResPoblacionFin.TextMatrix(i, 2) = VecResFxFinal(i, 1)
  Me.msfResPoblacionFin.TextMatrix(i, 3) = VecResFxFinal(i, 2)
Next

End Sub

Private Sub btLimpiar_Click()
  Call ENCABEZADO_POBLACION_INICIAL
  SwAlea = False
End Sub

Private Sub Form_Load()

```

```

Call ENCABEZADO_POBLACION_INICIAL
SwAlea = False
End Sub

Private Sub txtIteraciones_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii <> 8 Then ' El 8 es la tecla de borrar (backspace)
' Si después de añadirle la tecla actual no es un número...
If Not IsNumeric(Chr(KeyAscii)) Then
' ... se desecha esa tecla y se avisa de que no es correcta
Beep
KeyAscii = 0
End If
End If
End Sub

Private Sub txtNroGrupoPoblacion_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii <> 8 Then ' El 8 es la tecla de borrar (backspace)
' Si después de añadirle la tecla actual no es un número...
If Not IsNumeric(Chr(KeyAscii)) Then
' ... se desecha esa tecla y se avisa de que no es correcta
Beep
KeyAscii = 0
End If
End If
End Sub

Private Sub txtNroPoblacion_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii <> 8 Then ' El 8 es la tecla de borrar (backspace)
' Si después de añadirle la tecla actual no es un número...
If Not IsNumeric(Chr(KeyAscii)) Then
' ... se desecha esa tecla y se avisa de que no es correcta
Beep
KeyAscii = 0
End If
End If
End Sub

Private Sub txtres_KeyPress(KeyAscii As Integer)
KeyAscii = 0

```

End Sub

Private Sub txtresCrusado\_KeyPress(KeyAscii As Integer)

KeyAscii = 0

End Sub

Private Sub txtResPoblacionFinal\_KeyPress(KeyAscii As Integer)

KeyAscii = 0

End Sub

Private Sub txtResPoblacionIni\_KeyPress(KeyAscii As Integer)

KeyAscii = 0

End Sub

Private Sub MEJORES\_INDIVIDUOS\_FINAL(GruPoblacion As Long, Poblacion As Long)

Dim MitPobla As Long

Dim vecMejorPobla() As Long

Dim vecMejoresIndiv() As Long

Dim C As Long

MitPobla = Round((GruPoblacion / 2), 0) 'LA MITAD DE LA POBLACION

ReDim vecMejorPobla(1 To GruPoblacion, 0 To 2) 'MATRIZ QUE CONTIENE X y F(X)

ReDim vecMejPobCrusada(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion) 'CRUSE DE POBLACION

ReDim vecMejoresIndiv(1 To GruPoblacion, 1 To Poblacion) 'LOS MEJORES INDIVIDUOS FINAL

Dim Num0 As Long, Num1 As Long, Num2 As Long

'COPIA DE X Y F(X)

For i = 1 To GruPoblacion Step 1

vecMejorPobla(i, 0) = i

vecMejorPobla(i, 1) = VecResFxFinal(i, 1)

vecMejorPobla(i, 2) = VecResFxFinal(i, 2)

Next

'ESCOGENCIA DE LOS MEJORES INDIVIDUOS

'ORDENA LA MATRIZ QUE CONTIENE POBLACION POR F(x) ASCENDENTEMENTE

For i = 1 To (GruPoblacion - 1) Step 1

For j = (i + 1) To GruPoblacion Step 1

```

If vecMejorPobla(i, 2) < vecMejorPobla(j, 2) Then
    Num0 = vecMejorPobla(i, 0)
    Num1 = vecMejorPobla(i, 1)
    Num2 = vecMejorPobla(i, 2)

    vecMejorPobla(i, 0) = vecMejorPobla(j, 0)
    vecMejorPobla(i, 1) = vecMejorPobla(j, 1)
    vecMejorPobla(i, 2) = vecMejorPobla(j, 2)

    vecMejorPobla(j, 0) = Num0
    vecMejorPobla(j, 1) = Num1
    vecMejorPobla(j, 2) = Num2
End If
Next
Next

'SE SELECCIONA LA MITAD DE LA POBLACION QUE TIENEN LOS MEJORES VALORES DE F(x)
ASCENDENTEMENTE
K = 1
For i = 1 To 2 Step 1
    For j = 1 To GruPoblacion
        For C = 1 To Poblacion Step 1
            vecMejoresIndiv(j, C) = VecPobla(j, C) 'VALOR DE LOS MEJORES INDIVIDUOS DE LA
POBLACION
        Next
    Next
Next

Me.msResPoblacionMejInd.Cols = 4
Me.msResPoblacionMejInd.Rows = 1

'MOSTRAR Selección de los Mejores Individuos
Me.txtres.Text = Me.txtres.Text & vbCrLf & vbCrLf
For i = 1 To 2 Step 1
    Me.msResPoblacionMejInd.Rows = Me.msResPoblacionMejInd.Rows + 1
    Me.msResPoblacionMejInd.Row = i
    Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 0) = vecMejorPobla(i, 0)

    Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 1) = ""

```

```
For j = 1 To (Poblacion) Step 1
    Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 1) = Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 1) &
VecPobMadPadFin(vecMejorPobla(i, 0), j)
Next

    Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 2) = vecMejorPobla(i, 1)
    Me.msResPoblacionMejInd.TextMatrix(i, 3) = vecMejorPobla(i, 2)
Next
MsgBox "Termino el Proceso de Selección de los Mejores Individuos", vbInformation, "MENSAJE"
End Sub
```

## 11. CONCLUSION

Los Algoritmos Genéticos son una herramienta nueva que esta siendo utilizada en muchas áreas como Acústica, Ingeniería aeroespacial, Astronomía, Química, Ingeniería Eléctrica, Juegos, Robótica, Diseño de rutas y horarios, Ingeniería de Sistemas, Biología Molecular, entre otras. Aunque ellos han demostrado ser efectivos y eficaces al momento de realizar cualquier tarea, los algoritmos tienen ciertas limitaciones que deben ser estudiadas para evitar que se queden en un ciclo que no va a tener fin y que por ende no dará los resultados requeridos. Al momento de crear un algoritmo genético es importante definir una representación del problema, el lenguaje tiene que ser robusto, se tiene que elegir cuidadosamente la función de aptitud para que el algoritmo no entre en conflicto.

No obstante, los algoritmos genéticos se pueden definir como métodos sistemáticos para resolver problemas de búsqueda y optimización, aplicando los mismos mecanismos de la evolución biológica como la selección basada en la población, reproducción y mutación.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

PRESSMAN, Roger. Ingeniería del software Un enfoque práctico, Madrid, McGraw Hill. 5° Edición, 2002. Pág 601.

CENTENO ROJAS, Rocío. Tierra Un Planeta Verde, Santa Fe de Bogotá D.C., Editorial Libros & Libres, 1° Edición, 1994. Pág. 200.

BOLIVAR, Rubén; MELO, Yolanda, Ciencias Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., Santillana, 1991. Pág. 198.

DE JONG, K.A., An analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems. Tesis doctoral, University of Michigan, 1975.

### SITIOS WEB

Wikilearning, "Evolución biológica", Consultado en Noviembre de 2007 en la URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n\\_biol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica),  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_gen%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico)

MERELO GUERVÓS, Juan Julián, "Informática evolutiva: Algoritmos genéticos", Universidad de Granada Depto. Arquitectura y Tecnología de Computadores, 1997. Consultado en Agosto del} 2007 en la URL:  
<http://geneura.ugr.es/~jmerelo/ie/ags.htm>

MARCZYK, Adam, "Algoritmos genéticos y computación evolutiva", 2004 Consultado en Agosto de 2007 en la URL: <http://the-geek.org/docs/algen/>

RECALDE FRISON, Laura, "Esquemas algorítmicos - Algoritmos genéticos", Universidad de Zaragoza, 2006. Consultado en Agosto de 2007 en la URL:  
<http://webdiis.unizar.es/asignaturas/EDA/ea/slides/9-Algoritmos%20geneticos.pdf>

MOUJAHID, Abdelmalik; INZA, Iñaki; LARRAÑAGA, Pedro, "Algoritmos Genéticos", Universidad del País Vasco, Euskal Herriko Unibertsitatea, 2003. Consultado en Agosto de 2007 en la URL:  
<http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t2s.pdf>

VITERI, Katherine; SALAZAR, Christian; PAREDES, Carlos; MUÑOZ, José Luis, "Algoritmos Genéticos", 2005. Consultado en Octubre de 2007 en la URL:  
<http://www.fiec.espol.edu.ec/investigacion/topico/algoritmosgeneticos.pdf>

RUIZ RODRÍGUEZ, Ricardo "Generación y Optimización de Protocolos Criptográficos Mediante Técnicas de Algoritmos Genéticos", Universidad Tecnológica de la Mixteca. 2004. Consultado en Septiembre de 2007 en la URL:  
<http://www.utm.mx/~rruiz/seminarios/docs/06/s28Jun.pdf>

GESTAL POSE, Marcos, "Introducción a los Algoritmos Genéticos", Universidad de Coruña, Consultado en Enero de 2008 en la URL:  
<http://www.Sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AGGtutorial/TutorialAlgoritmosGeneticos.pdf>

f