

01158



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA OBTENCIÓN DE UN PORTAFOLIO DE INVERSIÓN ÓPTIMO.

por

Enrique Valdés Franco.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional

NOMBRE: Valdes Franco Enrique

FECHA: 7-jun-2004

FIRMA: 

Tesis propuesta para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería de Sistemas.

(Investigación de Operaciones)

Director de Tesis:

Dr. Jesús Hugo Meza Puesto



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

321

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

UNIVERSIDAD DE
MEXICO
FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS
Y FISICOMATEMATICAS
LIBRERIA

Agradecimientos

A mi madre Cecilia y Abuela Maria, mis hermanos Carlos, Karem e Izkur por su apoyo y afecto.

A mi tutor el Dr. Jesús Hugo Meza Puesto , a mis sinodales: M. I. Rubén Téllez Sánchez, M. C. Jorge Eliécer Sánchez Cerón, M. I. Isabel Patricia Aguilar Juárez, M. I. Fernando Cruz Aranda, y maestros por sus enseñanzas y apoyo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por su apoyo mediante una beca para realizar la Maestría.

A México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que me apoyo con una beca para mis estudios de Maestría.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| ÍNDICE | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| OBJETIVOS | 12 |
| CAPÍTULO 1 | 13 |
| OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN | 13 |
| Introducción | 13 |
| 1.1 Investigación de Operaciones | 14 |
| 1.1.1 Desarrollo de la Investigación de Operaciones | 14 |
| 1.1.2 Función de la Investigación de Operaciones | 15 |
| 1.1.3 Características de la Investigación de Operaciones | 15 |
| 1.1.4 Definición de la Investigación de Operaciones | 16 |
| 1.2 Sistema | 17 |
| 1.2.1 Definición de Sistema | 17 |
| 1.2.2 Elementos de un Sistema | 17 |
| 1.2.2.1 Actividades | 18 |
| 1.2.2.2 Recursos | 18 |
| 1.2.2.3 Controles | 18 |
| 1.2.2.4 Entidades | 18 |
| 1.2.3 Complejidad del Sistema | 19 |
| 1.2.4 Variables de un Sistema | 20 |
| 1.2.5 Parámetros de medición del desempeño de un Sistema | 20 |
| 1.2.6 Optimización del Sistema | 20 |
| 1.3 Optimización Matemática | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 1.3.1 Optimización de Sistemas | 21 |
| 1.3.2 Elementos de un modelo de decisión | 21 |
| 1.3.3 Tipos y modelos de simulación | 21 |
| 1.3.4 Tipo de cálculos | 22 |
| 1.3.5 Modelado en la investigación de Operaciones | 22 |
| 1.3.6 Definición del Problema | 23 |
| 1.3.7 Construcción del Modelo | 24 |
| 1.3.8 Modelo general de Programación Lineal | 24 |
| 1.3.9 Solución del Modelo | 25 |
| 1.3.10 Validación e implementación del modelo | 25 |
| 1.4 Simulación | 25 |
| 1.4.1 Definición | 25 |
| 1.4.2 Justificación de la simulación | 26 |
| 1.4.3 Realización de la Simulación | 26 |
| 1.4.4 Utilización de la simulación | 26 |
| 1.4.5 Tipos de Simulación | 27 |
| 1.4.5.1 Simulación Estática versus Dinámica | 27 |
| 1.4.5.2 Simulación Estocástica versus Determinista | 27 |
| 1.4.5.3 Simulación de eventos Discretos versus Continua | 27 |
| 1.4.6 Futuro de la Simulación | 28 |
| Conclusiones | 29 |

CAPÍTULO 2 **30**

INGENIERÍA FINANCIERA **30**

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 30 |
| 2.1 Definición | 31 |
| 2.2. Rubros Técnicos utilizados en Ingeniería Financiera | 32 |
| 2.2.1 Sinergia Corporativa | 32 |
| 2.2.2 Plusvalía Patrimonial | 33 |
| 2.2.3 Comité de Estrategia | 33 |
| 2.2.4 Estudio Técnico de Viabilidad | 33 |
| 2.2.5 Premisas | 34 |
| 2.5.6 Prospecto Técnico | 35 |
| 2.2.7 Indicadores Estratégicos | 35 |
| 2.2.8 Tasas de Interés | 35 |
| 2.3 Información en Ingeniería Financiera | 36 |
| 2.3.1 Cobertura de la Información | 36 |
| 2.4 Identificación de nuevos negocios o inversiones | 37 |
| 2.5 Decisiones Financieras en las Empresas | 37 |
| 2.6 Formas de Organización de las Empresas | 38 |
| 2.7 Sistema Financiero | 38 |
| 2.8 Mercados Financieros | 39 |
| 2.8.1 Las Tasas de los Mercados Financieros | 40 |
| 2.8.2 Tasas de Rendimiento de Activos Riesgosos | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 2.8.3 Índices de Mercado o Indexación de Mercado | 40 |
| 2.8.4 Mercados Eficientes | 41 |
| 2.9 Sistema Financiero Mexicano | 41 |
| 2.9.1 Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) | 43 |
| 2.9.2 Banco De México (BANXICO) | 43 |
| 2.9.3 Instituto para la Protección al Ahorro Bancario (IPAB) | 43 |
| 2.9.4 Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF) | 44 |
| 2.9.5 Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) | 44 |
| 2.9.6 Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF) | 44 |
| 2.9.7 Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR) | 45 |
| 2.9.8 Sistema Bancario | 45 |
| 2.9.9 Banca Múltiple | 45 |
| 2.9.10 Banca de Desarrollo | 45 |
| 2.9.11 Sociedades Financieras de Objetivo Limitado (SOFOLLES) | 46 |
| 2.9.12 Oficinas de Representación y Sucursales de Bancos Extranjeros | 46 |
| 2.9.13 Grupos Financieros | 46 |
| 2.9.14 Sociedades de información Crediticia | 47 |
| 2.9.15 Institutos Auxiliares de Crédito | 47 |
| 2.9.16 Almacén General de Depósitos | 47 |
| 2.9.17 Arrendadoras | 47 |
| 2.9.18 Sociedades de Ahorro y Préstamo | 47 |
| 2.9.19 Unión de Crédito | 48 |
| 2.9.20 Factoraje | 48 |
| 2.9.21 Casa de Cambio | 48 |
| 2.9.21 Mercado de Valores | 48 |
| 2.9.22 Bolsa Mexicana de Valores | 49 |
| 2.9.23 Casas de Bolsa | 49 |
| 2.9.24 Especialistas Bursátiles | 49 |
| 2.9.25 Sociedades Operadoras de Inversión | 49 |
| 2.9.26 Registro Nacional de Valores e Intermediarios | 50 |
| 2.9.27 Instituciones para el Depósito de Valores (INDEVAL) | 50 |
| 2.9.28 Calificadora de Valores | 50 |
| 2.9.29 Compañías de Seguros | 50 |
| 2.9.30 Sociedad Mutualista de Seguros | 50 |
| 2.9.31 Compañías Afianzadoras | 51 |
| 2.9.32 Administradora de Fondos de Retiro (AFORE) | 51 |
| 2.9.33 SIEFORE | 51 |
| 2.10 Instrumentos Financieros | 51 |
| 2.10.1 Acciones | 51 |
| 2.10.2 Bonos | 52 |
| 2.10.3 Forward | 53 |
| 2.10.4 Derivados | 53 |
| 2.10.5 Futuros | 53 |
| 2.10.6 Opciones | 54 |
| 2.10.7 Obligaciones | 54 |
| 2.10.8 Swaps | 54 |

| | |
|---------------------|-----------|
| 2.10.9 Warrants | 54 |
| 2.10.10 Títulos | 55 |
| Conclusiones | 56 |

CAPÍTULO 3 **57**

TEORÍA DE PORTAFOLIO **57**

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 57 |
| 3.1 Conceptos Estadísticos | 58 |
| 3.2 Riesgo | 61 |
| 3.2.1 Transferencia del Riesgo | 62 |
| 3.2.2 Tolerancia al riesgo | 62 |
| 3.2.3 Administración del Riesgo | 62 |
| 3.3 Teoría de la Cartera | 63 |
| 3.3.1 Selección de una Cartera de Inversión | 63 |
| 3.3.2 Horizonte de Tiempo | 63 |
| 3.3.3 Compensación entre el Riesgo y el Rendimiento | 64 |
| 3.4 Teoría Moderna de Portafolio | 64 |
| 3.4.1 Características de un Portafolio en general | 65 |
| 3.4.2 Modelo estándar media-varianza del Portafolio de Selección | 66 |
| 3.4.3 Teoría de Portafolio y diversificación | 67 |
| 3.4.4 Frontera Eficiente | 68 |
| 3.4.5 Teoría Moderna de Portafolio mediante en Análisis Beta | 68 |
| Conclusiones | 73 |

CAPÍTULO 4 **74**

ALGORITMOS GENÉTICOS **74**

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 74 |
| 4.1 Genética | 75 |
| 4.2 Nuevas Hipótesis y Concepciones | 78 |
| 4.2.1 Evolucionismo | 79 |
| 4.2.2 Lamarkismo | 80 |
| 4.2.3 El Darwinismo | 80 |
| 4.2.4 Mutación, Teoría Sintética y Adaptación | 81 |
| 4.2.5 Aportación de la Genética | 82 |
| 4.2.6 Evolución y Creación | 83 |
| 4.3 Mendel Gregor | 84 |
| 4.4 Lamarck Jean Baptiste | 85 |
| 4.5 Darwin Charles Robert | 86 |
| 4.6 Herencia | 87 |
| 4.7 Mutación | 87 |
| 4.8 Algoritmo | 89 |

| | |
|---|-----------|
| 4.9 Algoritmos Genéticos | 89 |
| 4.9.1 Metodología de Algoritmos Genéticos | 90 |
| 4.9.2 Codificación de Variables y Población Inicial | 91 |
| 4.9.3 Evaluación y Selección (Fitness) | 91 |
| 4.9.4 Cruzamiento o Recombinación (Crossover) | 92 |
| 4.9.5 Mutación | 93 |
| 4.9.6 Otros Operadores | 93 |
| 4.9.7 Aplicación de Operadores Genéticos | 94 |
| 4.9.8 Formación del Agente de Exploración | 94 |
| 4.9.9 Representación Genotípica Primitiva del Agente de Exploración | 94 |
| 4.9.10 Transformación de Genotipo a Fenotipo | 95 |
| 4.9.12 Funciones de Aptitud y Objetivo | 96 |
| Conclusiones | 97 |

CAPÍTULO 5 **98**

ALGORITMO GENÉTICO PARA OBTENER UN **98**

PORTAFOLIO DE INVERSIÓN ÓPTIMO **98**

| | |
|--|------------|
| Introducción | 98 |
| 5.1 Simulación | 99 |
| 5.2 Microsoft Visual Basic 6.0 | 99 |
| 5.2.1 Conceptos Básicos | 100 |
| 5.2.3 Desarrollo de Aplicaciones | 100 |
| 5.2.4 Conceptos de Programación | 101 |
| 5.3 Bases de Datos | 101 |
| 5.3.1 Estructura de una Base de Datos | 101 |
| 5.3.2 Bases de Datos con Visual Basic | 102 |
| 5.4 Planteamiento del Problema | 103 |
| 5.4.1 Definición del Problema | 103 |
| 5.4.2 Hipótesis | 103 |
| 5.4.3 Síntesis y Análisis del Problema | 103 |
| 5.4.4 Experimentación, resultados y conclusiones | 104 |
| 5.5 Algoritmo Genético para la Selección de una Cartera de Inversión Óptima | 104 |
| 5.5.1 Descripción del Proyecto | 104 |
| 5.5.2 Módulo de Población Inicial | 107 |
| 5.5.3 Módulo Traductor | 113 |
| 5.5.4 Módulo Evaluador | 115 |
| 5.5.5 Módulo Reproductor | 120 |
| 5.5.6 Módulo Cruzador | 124 |
| 5.5.7 Módulo Mutador | 130 |
| Conclusiones | 134 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 6 | 135 |
| SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 135 |
| Introducción | 135 |
| 6.1 Simulación | 136 |
| Conclusiones | 165 |
| CONCLUSIONES | 166 |
| ANEXOS | 167 |
| Anexo 1 | 167 |
| BIBLIOGRAFÍA | 170 |

INTRODUCCIÓN

Mediante la Teoría de Portafolio es posible determinar un portafolio de inversión que consista en una serie de activos financieros, con la condición de que sean conocidos los rendimientos de cada uno de estos activos, su riesgos y su comportamiento respecto al mercado financiero y el comportamiento que presenta cada uno respecto a los demás activos.

De cada portafolio de inversión se puede conocer su rendimiento y su riesgo, además a los inversionistas les interesa obtener las mayores utilidades posibles con el menor riesgo y al menor costo. Por esta razón es necesario determinar cual es el portafolio de inversión que cumple con las expectativas de los inversionistas.

Para determinar este portafolio óptimo se puede implementar un algoritmo genético que realice los cálculos y genere soluciones, para obtener al final, el portafolio óptimo para el inversionista.

Mediante la simulación se ahorra dinero y se previene un problema financiero debido a una mala decisión de inversión.

Los Algoritmos Genéticos es un método mediante el cual se puede determinar la solución óptima a un problema, dado un conjunto inicial de soluciones. A través de estos algoritmos, se combinan las posibles soluciones y se van creando nuevas soluciones, las cuales son mejores a las soluciones que los precedieron. Como todo método, este consta de una serie de pasos a seguir.

Generalmente cada algoritmo genético es único, ya que se diseña de acuerdo al problema que se desea resolver. Por esta razón se debe uno apegar únicamente a la metodología de los algoritmos genéticos y a ciertas condiciones de estos mismo. Por lo demás, se esta en plena libertad de diseñar el algoritmo como mejor se piense que resolverá el problema.

En esta tesis se desarrollo un algoritmo genético para determinar un portafolio de inversión óptimo que cumpla con las expectativas de un inversionista. Los primeros capítulos son conceptuales, dando un fundamento matemático en el que se ha basado la investigación para poder desarrollar dicho algoritmo. En el capítulo cinco se plantea el problema que se mencionó anteriormente y se diseña el algoritmo, el cual se explica paso a paso en ese capítulo.

Por ultimo se realizan varias simulaciones para poder comparar los resultados que presenta el algoritmo genético, y así determinar cual es la mejor solución. Se analizan y comentan los resultados obtenidos.

Así mismo, se pretende que los resultados obtenidos sirvan para futuras investigaciones a los alumnos e investigadores interesados en esta área del conocimiento.

OBJETIVOS

Los objetivos primordiales de este trabajo de investigación se enumeran a continuación:

- Utilización de Algoritmos Genéticos para la obtención de la mejor opción dada una gama inicial de posibilidades.
- Utilización de la Teoría de Portafolio para generar Portafolios de Inversión que conformaran las opciones a elegir.
- Utilización simultanea de la Teoría de Portafolio y Algoritmos Genéticos.
- Desarrollar un Algoritmo Genético para la selección de un portafolio de inversión optimo dado una gama de portafolios.
- Determinar cuales son las acciones más recomendables en este momento para la inversión, así como su proporción, las cuales sean utilizadas para la integración de un Portafolio de Inversión
- Determinar la conveniencia de la utilización de los algoritmos genéticos en la determinación de un Portafolio Optimo de Inversión.
- Que la presente investigación sirva de base para futuras investigaciones para las personas que estén interesadas en esta área del conocimiento

CAPÍTULO 1

OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN

Introducción

En este capítulo se describe brevemente la forma en que se ha desarrollado la Investigación de Operaciones a través del tiempo, también se plantea la importancia en la industria de esta área de la ciencia.

La Investigación de Operaciones se basa en el método científico y se utiliza para la solución de problemas como son la asignación de recursos, cantidad de inventario, tiempos de reemplazo, líneas de espera, etc.

Por otro lado, la Investigación de Operaciones se utiliza para resolver problemas de control de sistemas organizados (hombre-máquina), siendo estos resueltos por equipos interdisciplinarios.

Así mismo, se describe en el capítulo el procedimiento a seguir para definir, modelar, construir, solucionar y validar problemas mediante las técnicas de la Investigación de Operaciones.

Para desarrollar este capítulo se realizó una amplia investigación bibliográfica del estado del arte de la Investigación de Operaciones. Se analizó el material, para posteriormente sintetizar las ideas y plasmarlas en el presente capítulo. Las fuentes consultadas se encuentran en la bibliografía, y algunas en notas al pie de página.

El Capítulo se divide en tres partes: la introducción, el desarrollo (Investigación de Operaciones, Sistemas, y Optimización Matemática) y por último las conclusiones capitulares.

Los objetivos del capítulo son el introducir al lector en la disciplina de la Investigación de Operaciones, y el dar a conocer los fundamentos matemáticos en que se basa esta disciplina.

OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN

1.1 Investigación de Operaciones

1.1.1 Desarrollo de la Investigación de Operaciones

La Investigación de Operaciones (IO) es una de las áreas de la matemática que se han desarrollado recientemente. Las teorías que componen la Investigación de Operaciones se fundamentan en el Cálculo Diferencial e Integral y en la Probabilidad y Estadística, principalmente. Los precursores de esta área de la matemática son Newton, Lagrange, Leibnitz, Reimman, Bernoulli, Poisson, Gaus, Bayes, entre muchos otros científicos que han contribuido con sus estudios e investigaciones en este campo del conocimiento.

El término “Investigación de Operaciones” (IO) parece ser que se utilizó por primera vez en 1939, durante la segunda Guerra Mundial. Esto se debe a que los grupos de científicos de IO eran asignados directamente al militar ejecutivo encargado de las operaciones, por lo que en Inglaterra se conoció como “Investigación Operacional”, aunque tiene otros nombres como Evaluación Operacional, Análisis de Sistemas, Investigación de Sistemas, etc. Como en muchas otras disciplinas científicas, una vez que se calificó y denominó como “IO”, se determinó que su origen se remonta tiempo atrás.

Los inicios de la Investigación de Operaciones se remontan al año de 1759 cuando Quesnay utilizó modelos matemáticos para un análisis económico, posteriormente Walras hace lo mismo en 1874. La Programación Lineal fue desarrollada por Jordan en 1873, Minkowsky en 1896 y Farkas en 1903. La Programación Dinámica se origina con Markov en 1900, así como las Teorías de Inventarios, Tiempos y Movimientos desarrolladas por Erlang. En los años 30's König y Egervary desarrollaron la Teoría de Asignación. Von Neuman antes de la Segunda Guerra Mundial desarrolló la Teoría de Juegos. Después de la Segunda Guerra Mundial, Georg Dantzig desarrolló el método Simplex, el cual es fundamental para la Programación Lineal. Khun y Tucker desarrollaron la Programación No Lineal, Gomory la Programación Entera, y Markowitz la Simulación. De esta forma muchos científicos han contribuido al desarrollo de diferentes teorías que en su conjunto fundamentan y estructuran la Investigación de Operaciones.

1.1.2 Función de la Investigación de Operaciones

La Revolución Industrial implicó muchos cambios en las empresas, siendo uno de estos cambios, la gran división y especialización en el trabajo. Este cambio presenta problemas específicos, uno de los cuales es que cada componente de la organización en la empresa tiene sus propias metas y sistemas de valores, lo que provoca que las metas de un componente, algunas veces, estén en detrimento de otro. Para obtener la solución a este problema se utiliza la Investigación de Operaciones. Esto se debe a que por medio la IO se determina la solución mas adecuada para la organización en su conjunto. Las operaciones militares Aliadas durante la Segunda Guerra Mundial fueron un éxito en parte se debió a la utilización de la IO. Por esta razón los industriales, tanto en Estados Unidos como en Inglaterra, solicitaron la ayuda de los expertos militares en IO para la administración de sus empresas y la solución de los problemas que se presentaban, con la finalidad de hacer mas eficientes y competitivas sus empresas. Después de la guerra, muchos científicos que participaron en los programas industriales, se dedicaron al desarrollo de técnicas matemáticas para resolver problemas específicos. Se desarrollaron la Teoría de Redes, Programación Dinámica, Teoría de Espera, Teoría de Juegos, Teoría de Inventarios, etc. La Investigación de Operaciones se aplica en las industrias, sistemas financieros, sectores públicos y privados, etc. , y actualmente se aplica tanto en países industrializados, como en países en vías de desarrollo. La Investigación de Operaciones es una serie de técnicas matemáticas con estructura lógica que se utilizan como herramienta para resolver problemas en cualquier disciplina. Estas técnicas matemáticas están destinadas a optimizar la solución del problema.

1.1.3 Características de la Investigación de Operaciones

La Investigación de Operaciones se caracteriza por realizar una investigación sobre operaciones, siguiendo el Método Científico¹, debido a que se observa el problema, se formula su modelo matemático y se resuelve. Otra característica importante es su punto de vista organizacional, ya que intenta resolver problemas en los que existe conflicto de intereses entre los componentes de la organización. La solución que se obtiene es óptima para la organización en su conjunto. Cuando un conjunto de elementos se interrelacionan y trabajan como unidad, con el propósito de alcanzar objetivos específicos, entonces, estos forman lo que se define como "Sistema". Los

¹ El Método Científico se caracteriza por seguir una serie de pasos:

- a) observación del problema
- b) planteamiento del problema
- c) hipótesis
- d) síntesis y análisis del problema
- e) experimentación
- f) comprobación, modificación o rechazo de la hipótesis
- g) Conclusiones

elementos de un sistema son las actividades, recursos, controles y entidades. Más adelante en este capítulo² se estudiará detenidamente los elementos de un sistema y sus interrelaciones. La característica fundamental de la IO es la representación mediante modelos matemáticos de abstracciones de problemas reales. Los modelos en IO se representan mediante ecuaciones, las cuales poseen una estructura fundamental:

$$U = f(X_i, Y_j) \quad (1.1)^3$$

Donde U es el valor de ejecución del sistema, X_i son variables o constantes no controlables que afectan al sistema, Y_j son variables controlables, f es la función matemática que relaciona U , X_i y Y_j .

1.1.4 Definición de la Investigación de Operaciones

Para poder definir el término Investigación de Operaciones (IO) es fundamental conocer las características de esta área del conocimiento, como cualquier otra rama de la ciencia debe cumplir con la utilización del Método Científico y ser una herramienta, entre otras, para la toma de decisiones. Además, se pueden complementar los resultados obtenidos mediante la IO con otras herramientas de toma de decisiones, como los son la Estadística, el Análisis de Decisiones, etc. Para Hamdy A. Taha la Investigación de Operaciones (IO) es la determinación de la acción óptima a seguir en un problema con recursos limitados. Esto se realiza al representar el problema con un modelo matemático, y la solución del mismo por medio de técnicas matemáticas.⁴ Por otro lado, para el Dr. Juan Prawda, la Investigación de Operaciones (IO) es la aplicación del método científico para resolver problemas de control en organizaciones o sistemas⁵, para poder obtener soluciones que sirvan de la mejor manera a la organización en su conjunto, todo lo anterior lo lleva a cabo un grupo interdisciplinario.⁶ Para Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman la Investigación de Operaciones (IO) es aquella área de las matemáticas que se encarga de seleccionar la solución óptima dentro de una gama de opciones, que se obtienen al modelar sistemas deterministas y / o probabilistas.⁷ Por lo anterior definiremos a la Investigación de Operaciones (IO) como el área de las matemáticas que se dedica a la solución de problemas con restricciones y recursos limitados, mediante la modelación de estos sistemas físicos, tanto de modelos deterministas como

² Vid. *Infra. Sec. 1.2 SISTEMA*

³ Cfr. ROBERT J. THIERAUF, *Introducción a la Investigación de Operaciones (Trad.), 1ª. edic. , Editorial Limusa, México, 1984, pág. 23.*

⁴ Cfr. HAMDY A. TAHA, *Investigación de Operaciones (Trad.), 5ª. edic. , Editorial Alfaomega, México, 1992, pág. 1.*

⁵ Vid. *Infra. Sec. 1.2 SISTEMA*

⁶ Cfr. JUAN PRAWDA WITENBERG, *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones, Vol. 1 (Trad.), 8ª. edic. , Noriega Editores, México, 1989, pág. 14.*

⁷ Cfr. FREDERICK S. HILLIER & GERALD J. LIEBERMAN, *Introducción a la Investigación de Operaciones (Trad.), 1ª. edic. , McGraw-hill, México, 1992, pág. 17.*

probabilistas, realizando lo anterior por medio de la aplicación de técnicas matemáticas para modelar y analizar dichos sistema.

1.2 Sistema

1.2.1 Definición de Sistema

Como ya se vio anteriormente⁸, el sistema se conoce como un “conjunto de elementos que se interrelacionan y trabajan como unidad, con el propósito de alcanzar objetivos específicos; siendo los elementos de todo sistema las actividades, los recursos, los controles y las entidades”. Es decir un sistema es un conjunto de entidades interrelacionadas entre si para ejecutar una función. Un sistema no lineal es aquel en el cuál las respuestas no son directamente proporcionales a una variable dada o las interrelaciones entre las variables dentro del sistema se representan por ecuaciones no lineales. Un sistema dinámico es aquel en el que sucede un cambio a través del tiempo debido a influencias externas al sistema, los sistemas dinámicos pueden tener un tiempo discreto o continuo. Se dice que un sistema es determinista si para cada evento existe una consecuencia única, y estocástico (aleatorio o probabilista) si a partir de una distribución de probabilidad existen mas de una consecuencia resultante.

1.2.2 Elementos de un Sistema

Los elementos de un sistema definen el mismo sistema, ya que determinan el cómo, cuándo, quién, etc. Todo sistema está compuesto por los siguientes elementos: las actividades que son tareas mediante las que se procesan las entidades, ya sea de manera directa o indirecta, los recursos que son los medios que se utilizan para que las actividades se puedan llevar a cabo, los controles que rigen el orden del sistema, indicando cómo, cuándo y dónde se deben llevar a cabo las actividades, y las entidades que son los elementos que el sistema procesa, pudiendo ser estos entidades de entrada o entidades de salida.

⁸ *Vid. Supra. Sec. 1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES*

1.2.2.1 Actividades

Se conoce como actividades a las tareas que son desarrolladas en el sistema que involucran el procesamiento de entidades, ya sean de forma directa o indirecta, se caracterizan además por que consumen tiempo y utilizan recursos. Se clasifican en ajuste de recursos, mantenimiento y reparación (reparación maquinaria, etc.), movimiento de recursos y entidades (viaje, etc.), proceso de entidad (fabricación, etc.).

1.2.2.2 Recursos

A los medios por los cuales se desarrollan las actividades se les conoce como recursos, se caracterizan como capacidad, velocidad tiempo de ciclo y confiabilidad. Se clasifican en intangible (información, etc.), inanimados (equipo, etc.), y en humanos o animados (personal, etc.).

1.2.2.3 Controles

Los controles dentro del sistema son los encargados de poner orden al mismo, ya que dictaminan como, cuando y dónde se desarrollan las actividades. Se clasifican en nivel altos (planes, etc.) y en nivel bajo (procesos escritos, etc.).

1.2.2.4 Entidades

Los elementos que se procesan a través de un sistema se conocen como entidades, las cuales pueden tener características únicas. Las entidades se subdividen en intangibles: correos, llamadas, etc.; inanimadas: documentos, secciones, etc.; humanas o animadas: clientes, consumidores, etc. En la Figura 1.1 se muestran los elementos de un sistema:

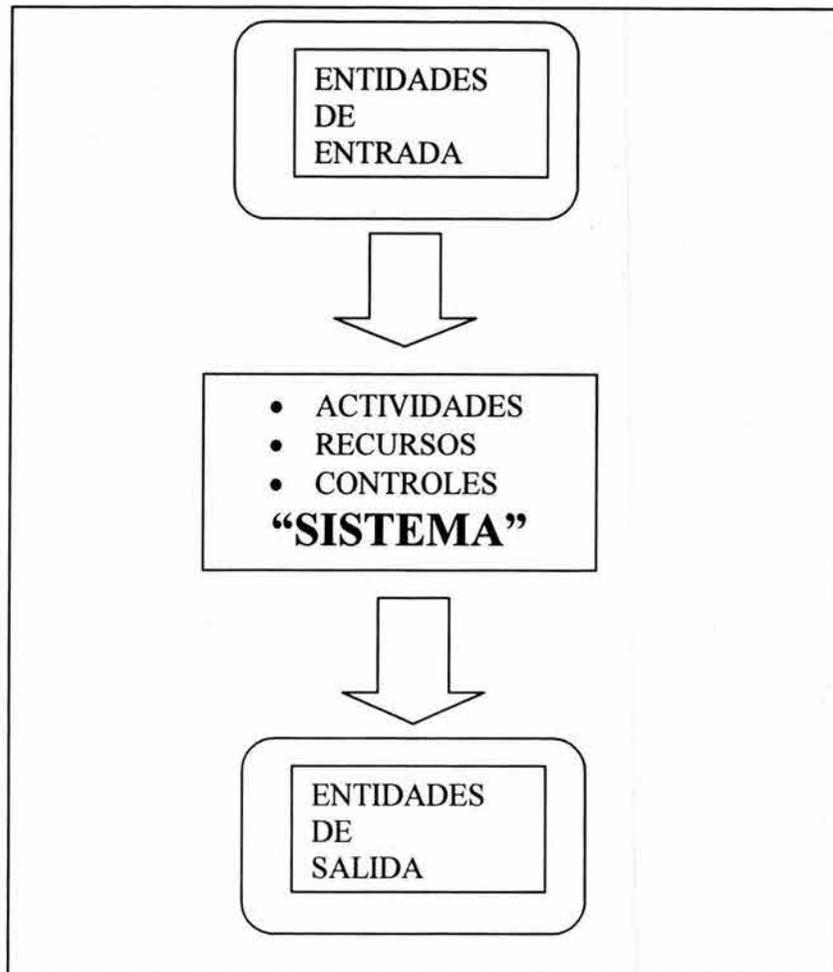


Figura 1.1 Elementos de un Sistema

1.2.3 Complejidad del Sistema

Complexus en latín significa “conectados conjuntamente” y se refiere a la limitación de la capacidad humana para comprender y analizar un ente (en este caso un sistema). Se considera que un sistema es complejo cuando las interrelaciones del sistema son difíciles de comprender. La complejidad de un sistema depende primero, de la interdependencia de los elementos; y segundo, de la variabilidad en el comportamiento del sistema, lo que produce incertidumbre. Se define como interdependencia al hecho de que un elemento afecte el comportamiento de otros elementos dentro del sistema. Los tipos de variabilidad que puede presentar un sistema que sea analizado son de tiempo de actividad, decisiones, cantidades, intervalos de eventos y en atributos.

1.2.4 Variables de un Sistema

Es necesario entender e identificar los tres diferentes tipos de variable que se interrelacionan en todo sistema. Lo anterior es necesario para realizar un modelado adecuado. Los tres tipos de variable son:

- Variables de Decisión o Insumos: se caracterizan por ser independientes en el sistema, debido a que al cambiar su valor afectan al sistema, estas variables a veces se pueden controlar, por lo que se llaman de “Variables de Decisión”.
- Variables de Respuesta, desempeño o Salida: Estas variables se relacionan con una variable de decisión en particular, midiendo el desempeño del sistema en relación a esa variable de decisión.
- Variables de Estado: son las que en un tiempo específico miden el estado del sistema.

1.2.5 Parámetros de medición del desempeño de un Sistema

Estos parámetros son medidas que se utilizan para asegurar el desempeño de un sistema. Por ejemplo, los parámetros utilizados para describir la efectividad⁹ y eficiencia¹⁰ de sistemas de manufactura y servicio son el tiempo de flujo (es el tiempo promedio que tarda en ser procesado en el sistema un elemento), la utilización (es tiempo promedio en que un recurso esta en uso productivo), tiempo de espera (tiempo que espera un elemento para ser procesado en el sistema), la tasa de flujo (numero de elementos producidos por unidad de tiempo), rendimiento (porcentaje de productos completados satisfactoriamente respecto al total de productos procesados por el sistema), respuesta a clientes (Habilidad del sistema para enviar productos a tiempo minimizando el tiempo de espera del cliente), y la varianza (es el grado de fluctuación que ocurre en cualquiera de los parámetros de medición anteriores).

1.2.6 Optimización del Sistema

La optimización de un sistema se refiere a la búsqueda de la mejor combinación de variables de decisión que maximizan o minimizan una función objetivo, donde se considera a una variable de respuesta del sistema como una función objetivo.

⁹ La efectividad es la virtud y facultad para lograr un efecto determinado.

¹⁰ La eficiencia, como en la efectividad, es la virtud y facultad para lograr un efecto determinado, pero este efecto debe ser logrado en un tiempo determinado.

1.3 Optimización Matemática

1.3.1 Optimización de Sistemas

A la mejor combinación de variables de decisión que maximicen o minimicen la función objetivo se le denomina *Optimización Matemática*, el término *Matemática* se refiere a la utilización de técnicas matemáticas para la solución del problema planteado. Por otro lado, la función objetivo es la ecuación matemática que representa las variables de respuesta del sistema en estudio.

1.3.2 Elementos de un modelo de decisión

Un modelo de decisión es la representación matemática de un problema de decisión característico de la Investigación de Operaciones. La decisión consiste en escoger la mejor opción (la óptima) dentro de una gama de posibilidades o restricciones propias del problema. El sistema real supuesto es una abstracción de una situación real en donde se identifican los factores dominantes como son las variables, restricciones y los parámetros que controlan el comportamiento del problema. El modelo es la abstracción del sistema real supuesto, en donde mediante funciones matemáticas se identifican las relaciones del sistema en forma de una función objetivo y su conjunto de restricciones. Todo problema de Investigación de Operaciones presenta tres componentes básicos que son:

- a) Opciones de decisión: son las posibles soluciones del problema, dentro de las cuales se seleccionará la solución óptima.
- b) Restricciones del problema: las limitaciones a las que estará sometida la decisión.
- c) Criterio objetivo: es el problema a resolver.

1.3.3 Tipos y modelos de simulación

En la Investigación de Operaciones se resuelven los problemas mediante la solución de modelos matemáticos o por medio de los métodos de simulación. La simulación¹¹ se utiliza debido a que un gran número de situaciones reales hasta el momento están fuera del alcance de las técnicas matemáticas, es

¹¹ *Vid. Infra. Sec. 1.4 SIMULACIÓN*

decir, no se han desarrollado técnicas matemáticas para la solución de determinados problemas. Respecto a los modelos matemáticos existentes, estos se dividen principalmente en:

- a) Modelos probabilistas o estocásticos: cuando los datos del sistema son del tipo estocástico.¹²
- b) Modelos deterministas: cuando los datos del sistema son de tipo determinista.¹³

1.3.4 Tipo de cálculos

Son únicamente dos tipos de cálculos que se utilizan en la investigación de operaciones, el primero es el utilizado en la simulación y el segundo el utilizado en los modelos matemáticos. Simulación: son cálculos voluminosos, para los cuales se utilizan softwares diseñados específicamente para cada tipo de problema. En el mercado existen programas informáticos para análisis financieros, diseños de maquinarias, análisis de esfuerzos, dibujo asistido por computadora, etc. Por mencionar un ejemplo, existe actualmente en el área de simulación de sistemas el software ProModel¹⁴, para la simulación de procesos, rutas, asignaciones, etc. Modelos matemáticos: son de naturaleza iterativa, en este caso se supone que se conocen las funciones objetivo y las restricciones del modelo, además, estas se pueden representar matemáticamente, ya que se pueden cuantificar, y se representan como variables de decisión. Si estos modelos matemáticos cumplen con ciertas características propias de algún problema, entonces se resuelven por medio de algoritmos desarrollados previamente. Cada teoría del área de IO tiene ciertos algoritmos.

1.3.5 Modelado en la investigación de Operaciones

Se debe mencionar que el modelado de un problema debe ser realizado por un grupo interdisciplinario de especialistas en el área de estudio, para poder así obtener un modelo que represente adecuadamente la realidad del problema. Lo anterior se debe a que una persona no puede abarcar todas las áreas del conocimiento necesarias para modelar los problemas adecuadamente. Para modelar un problema se siguen los siguientes pasos: definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, validación del modelo, implantación de los resultados finales.

¹² Estocástico: modelos en los cuales al repetirse bajo las mismas condiciones controlables presentan resultados distintos

¹³ Determinístico: modelos en los cuales al repetirse bajo las mismas condiciones controlables presentan siempre el mismo resultado.

¹⁴ ProModel es un Software desarrollado por la empresa PROMODEL Corporation (USA)

1.3.6 Definición del Problema

En la etapa de la definición del problema se describe la meta u objetivo que se va a estudiar, así mismo, se deben identificar las diferentes alternativas de decisión existentes en el sistema a resolver; por otro lado se deben identificar las restricciones o limitaciones y requisitos propios del sistema en estudio. Las siguientes preguntas sirven de base para obtener información en la formulación de un problema:

- a) ¿Cuál es el problema, de quién es y cuál es el marco de referencia?
- b) ¿Quién toma las decisiones y cuales son sus objetivos?
- c) ¿Qué componentes son controlables, cuales no y que interrelaciones existen en el sistema?
- d) ¿La solución es a corto o largo plazo?

Cuando se formula un problema se requiere:

- a) Identificar las componentes controlables del sistema.
- b) Identificar las rutas de acción de acuerdo con las componentes.
- c) Definir marco de referencia, dado por las componentes no controlables.
- d) Definir los objetivos.
- e) Identificar relaciones.

El equipo de Investigación de Operaciones se entera de los problemas que debe solucionar siempre de manera imprecisa, por esta razón se abocará al estudio del sistema desarrollando un resumen muy bien definido del mismo. En este resumen aparecerán el objetivo, áreas de organización, cursos de acción y tiempo para realizar el estudio. El equipo de investigación de operaciones trabaja a nivel de asesoría. Para determinar los objetivos apropiados se identifica al responsable de la administración y se le cuestiona acerca de los objetivos pertinentes; después se analizan y ordenan. Los objetivos deben coincidir con los objetivos generales y particulares de la empresa, así como los de cada departamento involucrado en el problema. En una empresa de negocios existen cinco partes que son fundamentales en la empresa, que deben ser tomadas al momento de tomar decisiones, las cuales son:

- a) Dueños, que desean ganancias.
- b) Empleados, que desean un empleo seguro.
- c) Clientes, que desean un producto o servicio confiable a buen precio.
- d) Vendedores, que piensan en el precio del bien o servicio que manejan.
- e) Gobierno, que exige el pago de impuesto sobre las utilidades obtenidas

1.3.7 Construcción del Modelo

La etapa de la construcción del modelo es la decisión del modelo a utilizar, el cual representará el sistema de estudio. Este modelo se caracteriza por ser una representación matemática que consta de función objetivo y de restricciones del sistema en función de las variables de decisión. Se han desarrollado teorías específicas para resolver sistemas que cumplen con determinadas características, las cuales se utilizan si el sistema en estudio cumple con estas características. Si el modelo es demasiado complejo se utilizará la simulación. El modelo matemático debe contener las variables de decisión, variables de respuesta y variables de estado.

1.3.8 Modelo general de Programación Lineal

Un caso particular de la IO es la Programación Lineal, pero que es muy importante ya que resuelve cierto tipo de problemas. Además de que no sirve para entender de manera clara la forma en que se plantean los problemas en la IO. Supongamos que se tiene cierto número m de recursos limitados, los que se destinan a un conjunto n de actividades. Si se asocia el subíndice j a las actividades que es posible llevar a cabo; y el subíndice i a los recursos limitados. Además definimos a x como el conjunto de valores que es posible asumir por cada actividad; sea b la cantidad que se dispone de cierto recurso; y sea c el costo que está asociado a cada actividad x ; sea a el coeficiente que se asocia a x denotando con ello la cantidad de un cierto recurso que se aplicara para llevar a cabo dicha actividad. Lo anterior se representa en el siguiente modelo matemático¹⁵:

$$\begin{array}{ll} \text{Maximizar o Minimizar:} & f = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \\ \text{Sujeto a las restricciones:} & a_{11} x_{11} + a_{12} x_{12} + \dots + a_{1n} x_{1n} = b_1 \\ & a_{21} x_{21} + a_{22} x_{22} + \dots + a_{2n} x_{2n} = b_2 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & a_{m1} x_{m1} + a_{m2} x_{m2} + \dots + a_{mn} x_{mn} = b_m \end{array} \quad (1.2)$$

donde $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots$ hasta $x_n \geq 0$.

¹⁵ Cfr. JOSÉ LUIS MORA, *Investigación de Operaciones e Informática*, 2ª. edic. , Editorial Trillas, México, 1986, pág. 25.

1.3.9 Solución del Modelo

La etapa de la solución del modelo es la aplicación de la teoría correspondiente para poder así encontrar la solución óptima del sistema en estudio. En la IO se han desarrollado diferentes teorías, mediante las cuales se analizan los diversos problemas, y se resuelven siguiendo ciertos algoritmos. Estas teorías son la Programación Lineal, Programación Dinámica, Teoría de Decisiones, Teoría de Espera, Teoría de Juegos, etc. En esta etapa se puede utilizar el análisis de sensibilidad, el cual consiste en verificar que la solución sea la óptima, y si no es así, partir de la solución subóptima y mediante ciertas técnicas matemáticas obtener la solución óptima definitiva.

1.3.10 Validación e implementación del modelo

La etapa de validación del modelo es la comprobación del funcionamiento del modelo al comparar su funcionamiento con algunos datos anteriores disponibles en el sistema actual. Se dice que un modelo es válido cuando predice confiablemente el funcionamiento del sistema, independientemente de las inexactitudes propias del sistema. La etapa de la implantación se refiere a la aplicación de los resultados ya probados del modelo, que se traduce en instrucciones detalladas de operación dirigida a las personas que posteriormente operarán el sistema. Se enfatiza que debe existir la posterior retroalimentación por parte de los usuarios del sistema para poder mejorar o corregir el modelo.

1.4 Simulación

1.4.1 Definición

Por medio de la simulación se pueden imitar las condiciones de un proceso mediante un modelo, utilizándose para probar, investigar, entrenar, estudiar, etc. La Simulación es la forma de reproducir un sistema dinámico mediante la utilización de un modelo de computadora para poder evaluar la manera en que se desempeña los sistemas en estudio. Mediante la simulación se obtiene información del sistema actual. En la simulación no se indican de forma explícita las relaciones entre entradas y salidas. Se define la Simulación como “una técnica de muestreo estadístico controlada, que es utilizada para poder estimar el desempeño de sistemas complejos en estudio del tipo estocástico (en el caso de que el modelo analítico no sea suficiente)”, además de que la simulación se caracteriza por que describe la operación del sistema en términos de los eventos individuales de las componentes individuales, mas que describir el comportamiento del sistema.

1.4.2 Justificación de la simulación

Mediante la simulación se reducen los costos, se toman mejores decisiones en un tiempo menor, y proporciona un método formal y de pronóstico para evaluar tanto sistemas sencillos como sistemas complejos. Ya que la simulación corre en tiempo comprimido, esto nos permite simular meses en segundos. Con la simulación se puede determinar la interdependencia, variabilidad¹⁶, y comportamiento del sistema a través del tiempo, así mismo, proporciona resultados para su posterior estudio y análisis.

1.4.3 Realización de la Simulación

La simulación se utiliza como una herramienta de experimentación. Para desarrollar una simulación se deben realizar los siguientes pasos del método científico: formulación de una hipótesis, desarrollo de un experimento, prueba de hipótesis a través del tiempo, y obtención de conclusiones respecto a la validez de la hipótesis.

1.4.4 Utilización de la simulación

Las aplicaciones comerciales de la simulación se remontan a la década de los 60's, habiéndose incrementado en la última década debido a la disponibilidad de lenguajes de simulación, mejoramientos en los componentes de hardware y a la reducción de costos de las Computadoras Personales. El principal uso de la simulación es en el diseño y en la manufactura. Entre otras aplicaciones de la simulación figuran el diseño de sistemas de control, programación de mantenimiento, producción y recursos, balanceo de líneas de producción y optimización de lotes, planeación de flujos de trabajo, capacidad, tiempo de ciclo, y la reducción de costos y de inventarios. La simulación no debe ser utilizada indiscriminadamente, se recomienda utilizarla si los sistemas en estudio cumplen con las siguientes características: que la decisión sea de tipo operacional, que el proceso esté bien definido y sea repetitivo, que dentro del sistema los eventos poseen interdependencia y un cierto grado de variabilidad, el costo de decisión sea mayor que el costo de simulación, el costo de experimentación sea mayor que el costo de simulación. Es muy importante tomar en cuenta que la simulación no debe ser hecha si los costos de simulación exceden los costos previstos para dicha simulación.

¹⁶ La variabilidad es la aptitud para presentar variaciones, cambios de forma, propiedad o estado. Variar es hacer que una cosa sea diferente en algo de lo que antes era.

1.4.5 Tipos de Simulación

La simulación puede ser clasificada de acuerdo a diferentes parámetros que poseen los sistemas que son estudiados y analizados. Una clasificación que engloba a todos los tipos de simulación es la siguiente: estática o dinámica, estocástica o determinista, continua o de eventos discretos.

1.4.5.1 Simulación Estática versus Dinámica

La Simulación Estática no está basada en el tiempo, es decir, los procesos que ocurren dentro del sistema en estudio son independientes del transcurso del tiempo. En cambio la Simulación Dinámica incluye el análisis de los procesos a través del tiempo, esto implica que el Tiempo afecta los procesos que ocurren en el sistema analizado. La Simulación Dinámica es adecuada para analizar sistemas tanto de servicio como de manufactura.

1.4.5.2 Simulación Estocástica versus Determinista

En la Simulación Estocástica o Probabilista, una o más variables de entrada son de tipo aleatorio, lo que produce resultados aleatorios. En este tipo de simulación se deben realizar varias corridas para poder estimar el desempeño del sistema, ya que cada corrida genera resultados diferentes estadísticamente.

A la simulación con insumos no aleatorios se le conoce como Determinista y se caracteriza por que los estados futuros son determinados una vez que los datos que entran y el estado inicial han sido definidos. Además siempre producirá los mismos resultados, no importando el número de veces que se corra dicha simulación.

1.4.5.3 Simulación de eventos Discretos versus Continua

La simulación de eventos discretos se caracteriza porque los cambios de estado ocurren en puntos discretos del tiempo. Los cambios de estado de un modelo ocurren cuando algún evento sucede. El Estado del Modelo se define como el estado de todos los elementos del modelo en un punto particular del tiempo.

La simulación continua se caracteriza porque las variables de estado cambian continuamente respecto al tiempo. La simulación continua utiliza ecuaciones diferenciales o ecuaciones sin diferencia para definir los cambios en las variables de estado a través del tiempo. La mayor parte de los sistemas de procesamiento que poseen variables de estado de cambio continuo también poseen variables de cambio de estado discreto.

1.4.6 Futuro de la Simulación

Actualmente la mayoría de los software's de simulación existentes en el mercado se caracterizan por analizar datos de entrada, interfase gráfica del usuario, animación, tutoriales, depuración, generación automática de modelos, herramientas de análisis de salida, optimización, conectividad de base de datos. Las compañías dedicadas al desarrollo de tecnologías computacionales, como son los sistemas de software para simulación cuentan con especialistas en las diferentes áreas para poder así desarrollar paquetes de simulación que pronostiquen con mayor efectividad los sistemas en estudio. Por otro lado la tecnología continuará mejorando en el futuro, los software serán más económicos, accesibles y con mayor inteligencia artificial. Por estas razones las compañías desarrollarán paquetes que simulen sistemas y obtengan resultados más cercanos al comportamiento real del sistema y que sean más amigables al usuario.

Conclusiones

PRIMERA. En el área administrativa, la Investigación de Operaciones se utiliza para solucionar problemas que se presentan en los diversos sistemas de la empresa. Por lo que se han desarrollado muchas teorías para poder resolver estos problemas, como son la Teoría de Inventarios, Teoría de Juegos, etc.

SEGUNDA. La Optimización Matemática se utiliza para encontrar los puntos extremos de funciones(modelos), las cuales son la abstracción de un problema de estudio. Los modelos en IO se representan mediante ecuaciones(1.1), las cuales poseen una estructura fundamental:

$$U = f(X_i, Y_j)$$

Donde U es el valor de ejecución del sistema, X_i son variables o constantes no controlables que afectan al sistema, Y_j son variables controlables, f es la función matemática que relaciona U , X_i y Y_j .

CAPÍTULO 2

INGENIERÍA FINANCIERA

Introducción

Este capítulo describe la importancia de la Ingeniería Financiera en la toma de decisiones empresariales, ya sea en proyectos de inversión o financiamiento. Esta área de la Ingeniería Matemática es muy útil y es ampliamente utilizada en la actualidad por personas que laboran en muy diversos campos.

En el capítulo se presentan los sistemas financieros en general, sus características y utilidad a nuestra sociedad. También se especifican las entidades que comprende el Sistema financiero Mexicano y las funciones de cada una de estas entidades. Se presenta así mismo, los diversos instrumentos financieros en los que se puede invertir, ya sean acciones, bonos, etc.

Para la conformación del presente capítulo se consultó amplia bibliografía del área financiera, para poder sustraer las ideas que se consideraron más importantes para el tema del presente trabajo de investigación.

Este capítulo tiene por objetivo el introducir al lector en el área de la Ingeniería Financiera y fundamentar la posterior aplicación de la presente investigación en capítulos posteriores.

INGENIERÍA FINANCIERA

2.1 Definición

La productividad financiera de la empresa se puede obtener mediante la técnica conocida como Ingeniería Financiera, la cual consiste en la maximización de los activos y la minimización de los costos de capital. En el mundo la Ingeniería Financiera cobra auge a finales de setentas. La Ingeniería Financiera abarca la Valuación Corporativa, Identificación de Nuevos Negocios, Los Joint Ventures y las Alianzas Estratégicas, también cubre la Emisión de Capital, la Emisión de Deuda y las Reestructuraciones Financieras, lo anterior se aprecia con mayor claridad en los Diagramas 2.1 y 2.2. Una definición que propone John F. Marshall¹⁷ es la siguiente: “la Ingeniería Financiera es aquella que comprende el diseño, el desarrollo y la implementación de instrumentos y procesos financieros innovadores, así como la formulación de soluciones creativas a problemas en Finanzas”.

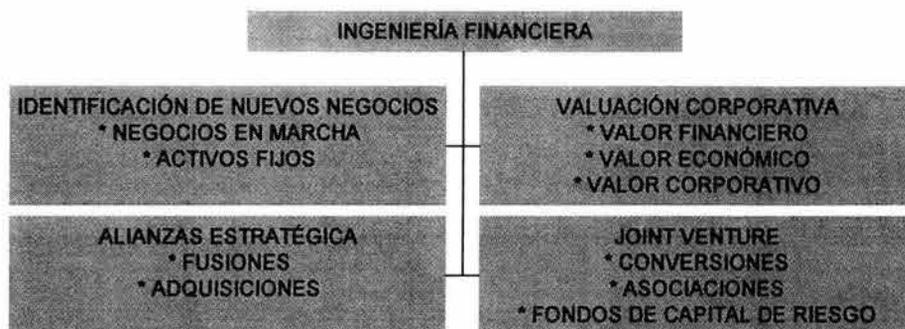


Diagrama 2.1 Campo de Estudio de la Ingeniería Financiera

¹⁷ Cfr. JHON F. MARSHALL & VIPUL K BANSAL, *Financial Ingeniering (Trad.)*, 1ª. edic. , Editorial Ally and Bacon, Estados Unidos de America, 1992, pág. 16.

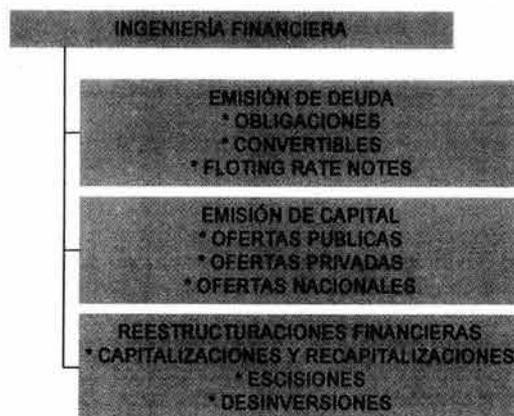


Diagrama 2.2 Ámbito de Estudio de la Ingeniería Financiera

Por su parte Bodie y Merton¹⁸ definen a las Finanzas como el “área de la ciencia que estudia la manera en que los recursos escasos se asignan a través del tiempo, siendo dos las características que distinguen a las decisiones financieras de otras asignaciones de recursos, a saber, los costos y las decisiones financieras. Estas características son que se distribuyen a lo largo del tiempo, y segundo, generalmente no son conocidos con anticipación por los encargados de tomar decisiones ni por nadie más”¹⁹. Así mismo, Bodie y Merton definen el Sistema Financiero como el “conjunto de mercados y otras instituciones mediante el cual se realizan las transacciones financieras y el intercambio de activos y riesgos”.

2.2. Rubros Técnicos utilizados en Ingeniería Financiera

2.2.1 Sinergia Corporativa

La sinergia es la unión de partes para realizar una tarea determinada. En las Corporaciones se realizan proyectos relevantes, cuyos efectos se reflejan en las variables económicas de la misma empresa, a este efecto percibido en las variables se le conoce como Sinergia Corporativa. La sinergia se puede definir como un conjunto de

¹⁸ Robert C Merton fue galardonado junto con Mirón Scholes con el Premio Nobel de Economía en 1997 debido a su trabajo en esta área del conocimiento, al hallar una fórmula para la valuación de opciones y otros valores derivados, que ha tenido un gran impacto sobre la teoría y práctica de las finanzas. Se conoce generalmente como fórmula de valuación de opciones Black-Scholes.

¹⁹ Cfr. ZVI BODIE & ROBERT C. MERTON, *Finanzas (Trad.)*, 1ª. edic., Editorial Pearson Educación & Prentice Hall Inc, México, 2003, pág. 25.

elementos, materiales o no, que forman un todo organizado produciendo un resultado en conjunto, proviene del griego *sinergia*, que significa cooperación.²⁰ Las sinergias corporativas pueden ser positivas o negativas, esto depende de los efectos positivos o negativos que ejerzan los diversos planes y proyectos al ser implementados. Respecto a la Ingeniería Financiera, la sinergia corporativa se obtiene mediante fusiones, adquisiciones, inversiones conjuntas, asociaciones, desapasivamientos y desinversiones.

2.2.2 Plusvalía Patrimonial

La plusvalía patrimonial se presenta cuando el valor de las acciones de una Corporación se incrementa. Lo anterior es el propósito fundamental de la Administración Financiera. Por esta razón los planes y proyectos de la corporación deben estar encaminados a la obtención de la plusvalía patrimonial a corto, mediano y largo plazo. También se debe tener en cuenta que existe la minusvalía patrimonial que es lo opuesto a la plusvalía patrimonial. Para cuantificar la plusvalía patrimonial se compara el valor accionario antes y después de la implementación de un proyecto.

2.2.3 Comité de Estrategia

Para evitar el riesgo de equivocarse en el desarrollo e implementación de proyectos se forma un equipo de trabajo o comité técnico que será el responsable del desarrollo técnico del mismo. Cada miembro del comité realizará una función específica, además se formulara un calendario de trabajo. Los participantes de grupo de trabajo deben tener una mentalidad objetiva, creativa, imaginativa, innovadora y poseer experiencia. Por último siempre debe existir un coordinador líder para eliminar controversias y antagonismos.

2.2.4 Estudio Técnico de Viabilidad

Antes de implementar proyectos de Ingeniería Financiera es necesario el determinar su conveniencia mediante el estudio técnico de viabilidad. En este se miden los efectos del proyecto en las variables estratégicas de la empresa a través del tiempo. Un posible formato para el estudio técnico de viabilidad se representa la Tabla 2.1.

²⁰ Cfr. *Diccionario Enciclopédico Hachette Castell*, 1ª. edic. , Tomo 10, Editorial Castell, España, 1981, pág. 2012.

| VARIABLE | HORIZONTE | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------|
| | AÑO 1 | AÑO 2 | | AÑO N |
| VENTAS | | | | |
| COSTOS | | | | |
| UTILIDADES | | | | |
| FLUJOS DE EFECTIVO | | | | |
| CONFIGURACIÓN DE ACTIVOS | | | | |
| ESTRUCTURA DE PASIVOS | | | | |
| GRADO DE APALANCAMIENTO FINANCIERO | | | | |
| GRADO DE APALANCAMIENTO OPERATIVO | | | | |
| TASA DE PRODUCTIVIDAD | | | | |
| TASA DE RENTABILIDAD | | | | |
| VALOR DE LA EMPRESA | | | | |

Tabla 2.1 Estudio Técnico de Viabilidad (en el cual se incluyen las variables estratégicas de la empresa)

2.2.5 Premisas

La premisa es aquella proposición de donde se infiere o saca una conclusión y constituye la esencia de las decisiones ejecutivas y fundamentan los proyectos de la Ingeniería Financiera. Las premisas certeras son aquellas provenientes de un hecho conocido, las viables son de ocurrencia probable pero no segura, las premisas estratégicas son referentes al medio externo de la empresa y las premisas corporativas son en las que se asume cierto comportamiento futuro de la empresa.

2.5.6 Prospecto Técnico

Este documento se realiza una vez finalizada la última fase de un proyecto de ingeniería y es en el cual se asienta por escrito los miembros del comité de estrategia, el periodo durante el cual se elaboro el proyecto, las premisas, la metodología utilizada, las bases y fundamentos técnicos del proyecto, y el perfil de los participantes del proyecto.

2.2.7 Indicadores Estratégicos

Los factores que señalan la posible ocurrencia de eventos macroeconómicos en un futuro se conocen como Indicadores Estratégicos, es decir se anticipan a acontecimientos económico-financieros futuros. Anticipan la inflación, actividades económicas, tasas de interés, cotizaciones monetarias, etc

2.2.8 Tasas de Interés

Existen varios tipos de tasas de interés:

- a) Interés Real o Efectiva: Se define como la diferencia entre la tasa nominal de interés y la tasa de inflación, siendo positiva si la tasa nominal es mayor a la inflacionaria, la formula utilizada es:
- b) Interés Equivalente: existen diferentes tipos de tasas de acuerdo al plazo de cada una, por lo que se debe convertir al mismo plazo para determinar la equivalencia entre dos tasas diferentes.
- c) Interés Líder: son tasas del mercado cuya influencia es decisiva para la variación de otras tasas, por ejemplo para USA, Japón y Alemania son sus respectivas tasas lideres, para México son los CETES
- d) Interés de Mercado: esta tasa se fija mediante la oferta y demanda, fluctúa diariamente, influyendo en las operaciones financieras. Para Estados Unidos y Japón las tasas de mercado son para ambos, en sus respectivos mercados financieros, la tase Libor y la tasa Prima; para México CETE es la tasa de mercado.
- e) Tasa de Rentabilidad Integral: se utiliza para la valuación de empresas.

f) Tasa de Costos de Capital: es la tasa que se aplica al capital derivado de un préstamo, por ejemplo, los intereses generados por el capital de un préstamo bancario.

e) Tasa de Interés Nominal: es la tasa pretendida, llamada u ostentada por un instrumento financiero, esto implica que la tasa nominal no es una tasa real o efectiva, estas tasas deben convertirse a tasas reales o efectivas.

2.3 Información en Ingeniería Financiera

Para la toma de decisiones, realización de proyectos y planes estratégicos es indispensable el contar con la información adecuada. Existen dos tipos de información, la primera, está referida al pasado o Información Histórica, y la segunda, la información referente el futuro o Información de Proyección. En cualquier sistema de información es recomendable seguir una metodología, como el recopilar información (reunión de datos históricos de las principales variables financieras), el generar información (mediante métodos y técnicas de pronósticos se generan las proyecciones basadas en datos históricos), el validar información (se recurre a especialistas sobre la materia, así como a los dictámenes de la información financiera recopilada con el fin de validar la información), el interpretar al información (se jerarquiza la información de acuerdo a su importancia y se interpreta la información) y la implementación de la información (se utiliza la información anteriormente obtenida para desarrollar planes y proyectos financieros de la empresa).

2.3.1 Cobertura de la Información

La información financiera abarca los siguientes contextos: información estratégica, corporativa y el guión informativo. La información estratégica es la información externa a la empresa y comprende: la situación económica-financiera nacional e internacional, eventos socio-políticos, mercado cambiario nacional y sus perspectivas, mercados monetarios internacionales y sus perspectivas, liquidez en el mercado financiero nacional e internacional, confianza en las emisiones de capital nacional e internacional, costo del dinero en el mercado nacional e internacional, riesgos del ámbito de la empresa y las oportunidades para la empresa. La Información Corporativa es la información interna de la empresa y comprende los planes de expansión, consolidación y diversificación, los programas, presupuestos y proyectos y las estrategias de inversión y desinversión, las fortalezas y debilidades, riesgos financieros de la empresa, costos de financiamiento, de aportaciones de capital, ponderados de capital y marginales de capital, nivel de utilidades, grado de apalancamiento financiero, tasas de rentabilidad. El guión informativo es un listado de rubros que especifica la información necesaria para cada proyecto en Ingeniería financiera, este se conforma por la información recopilada y analizada.

2.4 Identificación de nuevos negocios o inversiones

Los nuevos negocios o inversiones se realizan una vez que se han identificado oportunidades en el ámbito externo de la empresa. El propósito de la identificación es poder incursionar en nuevos mercados, colocar nuevos productos (incluyendo productos financieros) en el mercado, fortalecer posiciones, diversificación, aprovechar oportunidades, etc. La metodología o esquema técnico para la identificación consta de una serie de pasos a seguir: el determinar la viabilidad del medio externo para los negocios, buscar diversas opciones de negocio, identificar los diversos prospectos de inversión, evaluar y seleccionar el proyecto de inversión, integrar el proyecto al portafolio de opciones, cuantificar el monto de la inversión a realizar y escoger la fuente de financiamiento mas adecuada, definir la manera en que se invertirá, cuantificar la rentabilidad y analizar los riesgos que presenta el proyecto, determinar la forma en que afectara este nuevo proyecto a la empresa, elabora el prospecto técnico del proyecto.

2.5 Decisiones Financieras en las Empresas

Se define Empresa de Negocios a aquellas entidades creadas para producir bienes o servicios, siendo de diversas formas y tamaños. Las Finanzas Corporativas o Empresariales es el área de las finanzas que se encarga de estudiar la toma de decisiones por parte de las empresas. La planeación estratégica se refiere a las decisiones que debe tomar la empresa evaluando los costos y beneficios a través del tiempo, siendo en su mayor parte decisiones financieras. El proceso de elaboración del presupuesto de capital se desarrolla una vez que se ha realizado la planeación estratégica y comprende el plan de adquisición de capital. En este proceso la unidad básica de análisis es el proyecto de inversión. Después de haber decidido que proyecto se llevará a cabo se determina como financiarlo, a esto se le conoce como estructura de capital en la que se considera a la empresa en su conjunto. A continuación la empresa deberá emitir instrumentos y derechos financieros, algunos de estos se negocian en el mercado establecido, como son las acciones, bonos, etc. Otros derechos no son comerciales, como prestamos bancarios, opciones de compra, etc.²¹ La estructura de capital se caracteriza por mostrar como y quien se beneficiará de los futuros flujos de efectivo, así como quien tiene el control de la compañía.

²¹ *Vid. Infra. Sec. 2.10 INSTRUMENTOS FINANCIEROS*

2.6 Formas de Organización de las Empresas

La Empresa se puede organizar de alguna de las tres formas siguientes:

- a) Propiedad Única²²: en este caso los pasivos y activos de la empresa pertenecen a un individuo o familia, se caracteriza por ser de responsabilidad ilimitada, esto quiere decir que si la empresa se declara en bancarrota y no puede hacer frente a los pasivos, entonces los acreedores pueden incautar los activos personales del individuo

- b) Asociación o Sociedad Colectiva: en este caso la sociedad se forma con dos o más individuos, los cuales comparten las utilidades o pérdidas de la empresa, al igual que en la Propiedad Única, la responsabilidad es ilimitada, aunque existe la posibilidad de ser socio con responsabilidad limitada, pero este tipo de socio no participa en la toma de decisiones

- c) Sociedad Anónima: esta organización se caracteriza por que los propietarios y la empresa son entidades legales y fiscales distintas, por lo que es una organización de responsabilidad limitada. Las Sociedades Anónimas pueden celebrar contratos, adquirir bienes y servicios, endeudarse, etc. Puede así mismo tener litigios. La empresa está constituida mediante acciones²³ que dan derecho a voz y voto. Las acciones pueden ser transferibles sin modificar la estructura de la empresa.

Además, se conoce como “*Acta Constitutiva de la Empresa de una Sociedad Anónima*” al documento en el que se estipula entre otras cuestiones, el tipo de organización de la empresa, la aportación de cada socio, la forma de administrarse, se designan los miembros del Consejo de Administración (máximo órgano administrativo de la Sociedad Anónima), la forma de repartir los dividendos y afrontar las pérdidas. Dicha acta debe estar abalada notarialmente.

2.7 Sistema Financiero

El Sistema Financiero es un conjunto de elementos (tangibles e intangibles) que abarca mercados, intermediarios, empresas y otras instituciones financieras y bursátiles cuyo propósito es concretar las decisiones financieras de las empresas, gobiernos o individuos. Los elementos del Sistema Financiero interactúan al

²² La *Propiedad Única* en México se conoce como *Persona Física con Actividad Empresarial*

²³ Existen diferentes tipos de acciones, los cuales se tratarán dentro de la Sección 2.10.1

momento en que las entidades que poseen superávit de fondos los ponen a disposición de entidades con déficit de fondos, a través de intermediarios(bancarios, bursátiles, etc.) Esto se aprecia en la Figura 2.1

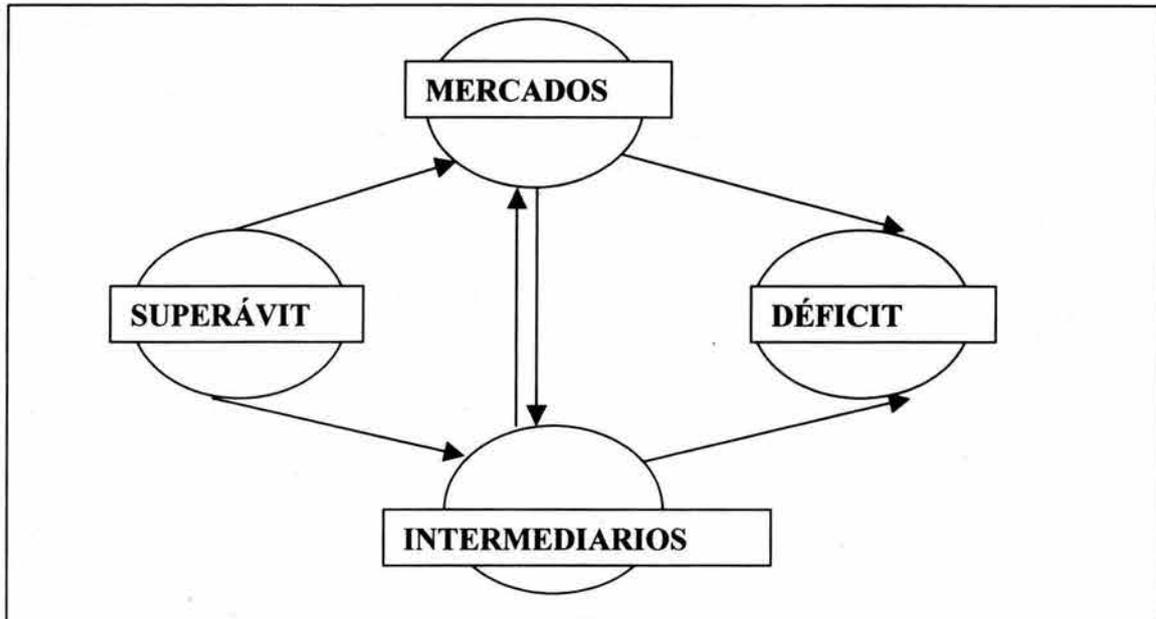


Figura 2.1 Flujo de Fondos

Los sistemas financieros son diferentes en cada país, lo cual se debe a una serie de circunstancias políticas, sociales, económicas, etc. Además, estos sistemas evolucionan con el tiempo. El Sistema Financiero proporciona varios servicios, entre los más importantes son la transferencia de recursos económicos entre países y entidades a través del tiempo, las formas de administrar el riesgo, los mecanismos de compensación y liquidación de pagos para la mayor facilidad al intercambiar bienes, servicios y activos, los mecanismos de concentración de recursos de distintas entidades o individuos, la información de precios referentes a varios sectores de la economía.

2.8 Mercados Financieros

Los activos financieros se dividen básicamente en Instrumentos de Deuda, de Capital y de Derivados:

- a) Deuda o Instrumentos de Renta Fija: son emitidos por cualquier entidad, entre estos se encuentran los bonos corporativos y del Estado, hipotecas, préstamos al consumidor, etc. Se caracterizan por que pagan renta fija en un plazo determinado. Por otro lado, los instrumentos de deuda se dividen de acuerdo a la fecha de vencimiento, en corto plazo(menor a un año) o mercado de dinero; y largo plazo(mayor a un

año). En el mercado de dinero se comercializan papel comercial corporativo y letras gubernamentales. Este mercado se caracteriza por ser líquido²⁴.

- b) Capital: en el mercado de valores o capitales se negocian las acciones de las empresas, que en realidad son el capital o derechos de los propietarios de una corporación.²⁵
- c) Derivados: son instrumentos financieros cuyo valor deriva de uno o varios activos, siendo su función la de administrar riesgos asociados a sus activos subyacentes. Los activos utilizados pueden ser valores de capital, divisas, etc. Los derivados más comunes son las Opciones y los contratos Forward.²⁶

En el Mercado de Dinero se comercializan deudas a corto plazo, y en el Mercado de Capitales se comercializan deudas a largo plazo y valores de capital (acciones)

2.8.1 Las Tasas de los Mercados Financieros

La tasa de interés es un rendimiento prometido, los factores que más influyen en estas tasas son la unidad de cuenta (es la unidad en la que se denominan los pagos, por ejemplo dólares, pesos mexicanos, etc.), el plazo de vencimiento (es el tiempo que transcurre hasta que se paga todo el monto prestado), el riesgo de incumplimiento (es la posibilidad existente de que una parte del interés o principal de la deuda no se pague, entre mayor sea el riesgo mayor la tasa de interés)

2.8.2 Tasas de Rendimiento de Activos Riesgosos

Existen muchos activos que no poseen tasas de rendimiento prometidas, por ejemplo las acciones, en estos instrumentos financieros, las tasas de rendimiento provienen de dos fuentes, la primera es la diferencia entre el precio en que se adquiere la acción y el precio final o de venta, el segundo son los dividendos o utilidades repartidas entre las acciones de una corporación.

2.8.3 Índices de Mercado o Indexación de Mercado

Una estrategia de inversión existente en la actualidad es la indexación, la cual consiste en invertir en valores en los que se busca igualar los rendimientos de la inversión a un índice específico del mercado de valores. Los principales índices accionarios del mundo son los que se muestran a continuación en la Tabla 2.2:

²⁴ La liquidez se define como la rapidez, costo y facilidad de un activo en convertirse en efectivo

²⁵ Vid. *Infra. Sec. 2.10 INSTRUMENTOS FINANCIEROS*

²⁶ Vid. *Infra. Sec. 2.10.3 FORWARD Y 2.10.7 OPCIONES*

| ÍNDICE | PAÍS |
|---|--|
| IPC Índice de Precios y Cotizaciones | México |
| DAX | ALEMANIA |
| MSCI EAFE | EUROPA, AUSTRALIA Y JAPÓN |
| DJI SP500 | ESTADOS UNIDOS |
| CAC 40 | FRANCIA |
| Nikkei Topix | JAPÓN |
| FT-30 FT-100 | REINO UNIDO |
| Credit Suisse | SUIZA |

Tabla 2.2 Principales Índices Accionarios del Mundo

2.8.4 Mercados Eficientes

La *Hipótesis de Mercados Eficientes* postula que la proporción del precio actual de un activo refleja plenamente toda la información pública disponible acerca de los fundamentos económicos futuros que afectarán el valor del activo.

2.9 Sistema Financiero Mexicano

El sistema financiero mexicano es una estructura compuesto por un conjunto de Instituciones Públicas y Privadas con funciones específicas dada una de ellas. La máxima autoridad dentro de este sistema en México es la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP). El Diagrama 2.3 muestra la estructura del Sistema Financiero Mexicano.

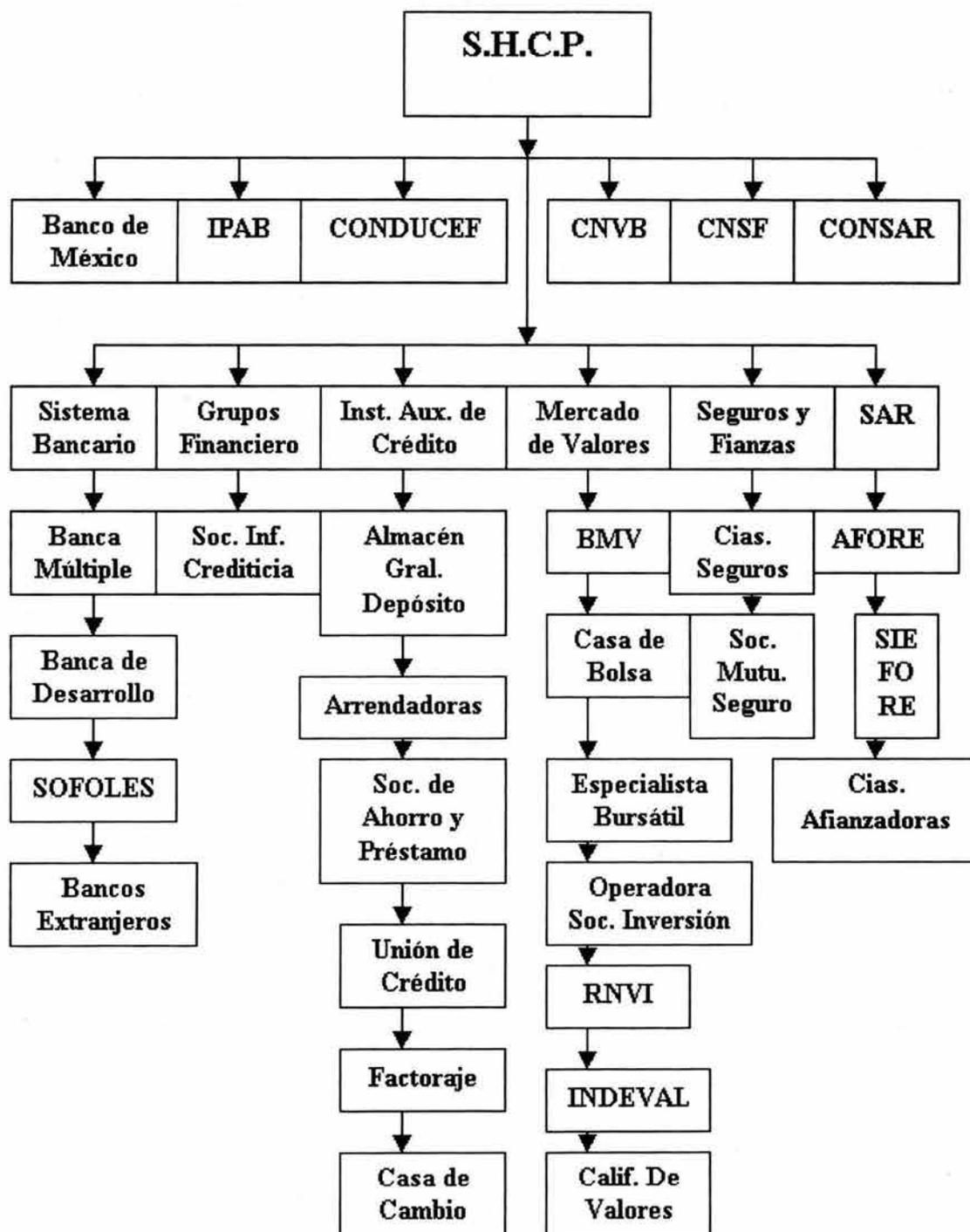


Diagrama 2.3 Estructura del Sistema Financiero Mexicano

2.9.1 Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) es la máxima autoridad dentro de la estructura del sistema financiero mexicano. De acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública, la SHCP tiene a su cargo: "Planear, coordinar, evaluar y vigilar el sistema bancario del país, que comprende al Banco Central, a la Banca Nacional de Desarrollo y las demás instituciones encargadas de prestar el servicio de Banca y Crédito." La SHCP también es la encargada de: "Ejercer las atribuciones que le señalen las leyes en materia de seguros, fianzas, valores y de organizaciones y actividades auxiliares de crédito".

2.9.2 Banco De México (BANXICO)

El Banco de México (BANXICO) es una institución con personalidad de derecho público, con carácter autónomo, encargada de las operaciones de banca central del país. Tiene como objetivo prioritario procurar la estabilidad del poder adquisitivo de la moneda, además de promover el sano desarrollo del sistema financiero y propiciar el buen funcionamiento de los sistemas de pagos. Para lograr lo anterior, el BANXICO desempeña las siguientes funciones:

- Regular la emisión y circulación de la moneda, la intermediación y los servicios financieros, y los sistemas de pagos.
- Operar con las instituciones de crédito como banco de reserva y acreditante de última instancia.
- Prestar servicios de tesorería al Gobierno Federal y actuar como agente financiero del mismo.
- Fungir como asesor del Gobierno Federal en materia económica y particularmente financiera.
- Participar en el Fondo Monetario Internacional y en otros organismos de cooperación financiera internacional o que agrupen a bancos centrales.
- Operar con bancos centrales y con otras personas morales extranjeras que ejerzan funciones de autoridad en materia financiera.

2.9.3 Instituto para la Protección al Ahorro Bancario (IPAB)

El Instituto para la Protección al Ahorro Bancario (IPAB) es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, creado con fundamento en la Ley de Protección al Ahorro Bancario. Esta última, tiene entre sus objetivos principales establecer un sistema de protección al

ahorro bancario, concluir los procesos de saneamiento de instituciones bancarias, así como administrar y vender los bienes a cargo del IPAB, esto último tratando de obtener el máximo valor posible de recuperación.

2.9.4 Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF)

La Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF) es un organismo público descentralizado, cuyos objetivos son promover, asesorar, proteger y defender los derechos e intereses de las personas que utilizan o contratan un producto o servicio financiero ofrecido por las instituciones financieras que operan dentro del territorio nacional, así como también crear y fomentar entre los usuarios una cultura adecuada respecto de las operaciones y servicios financieros.

2.9.5 Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV)

La Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, con autonomía técnica y facultades ejecutivas en los términos de la propia Ley de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores. La Comisión tiene por objeto supervisar y regular, en el ámbito de su competencia, a las entidades financieras, a fin de procurar su estabilidad y correcto funcionamiento, así como mantener y fomentar un sano y equilibrado desarrollo del sistema financiero en su conjunto, en protección de los intereses del público. También tiene como finalidad supervisar y regular a las personas físicas y morales, cuando realicen actividades previstas en las leyes relativas al sistema financiero.

2.9.6 Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF)

La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF), es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Goza de las facultades y atribuciones que le confieren la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros, la Ley Federal de Instituciones de Fianzas, así como las demás leyes, reglamentos y disposiciones administrativas aplicables a los mercados asegurador y afianzador mexicanos. La misión de la CNSF es garantizar al público usuario de los seguros y las fianzas que los servicios y actividades de las instituciones y entidades autorizadas se apeguen a lo establecido por las leyes.

2.9.7 Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR)

La Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público dotado de autonomía técnica y facultades ejecutivas, con competencia funcional propia en los términos de la Ley de los Sistemas de Ahorro (LSAR) para el Retiro (artículo 2º, LSAR). La CONSAR tiene por objeto establecer los mecanismos, criterios y procedimientos para el funcionamiento de los sistemas de ahorro para el retiro, previstos en las leyes del Seguro Social, del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores y del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado; en su caso, proporcionar el soporte técnico necesario para el correcto funcionamiento de los sistemas; operar los mecanismos de protección a los intereses de los trabajadores cuentahabientes; y efectuar la inspección y vigilancia de las instituciones de crédito y de las sociedades de inversión que manejen recursos de las subcuentas de retiro y de sus sociedades.

2.9.8 Sistema Bancario

El servicio de banca y crédito sólo podrá prestarse por instituciones de crédito, que podrán ser de banca múltiple y de desarrollo. Se considera servicio de banca y crédito la captación de recursos del público en el mercado nacional para su colocación en el público.

2.9.9 Banca Múltiple

Son Sociedades Anónimas de Capital Variable que tienen por objeto la prestación del servicio de banca y crédito y cuentan con la autorización de la SHCP. Las instituciones de banca múltiple podrán realizar las siguientes funciones, entre otras: recibir depósitos; aceptar préstamos y créditos; emitir bonos bancarios y obligaciones subordinadas; efectuar descuentos y otorgar préstamos o créditos; expedir tarjetas de crédito; operar con valores; promover sociedades mercantiles; operaciones con metales y divisas, incluyendo reportes sobre las mismas, y practicar las operaciones de fideicomiso.

2.9.10 Banca de Desarrollo

Las instituciones de banca de desarrollo son entidades de la Administración Pública Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, constituidas con el carácter de Sociedades Nacionales de Crédito. Las

instituciones de banca de desarrollo realizan las funciones de las instituciones de banca múltiple, más la promoción específica de ciertos sectores de la economía.

2.9.11 Sociedades Financieras de Objetivo Limitado (SOFOLES)

Son sociedades que están autorizadas por la SHCP para captar recursos provenientes de la colocación de instrumentos inscritos en el Registro Nacional de Valores e Intermediarios y otorgar crédito para determinada actividad o sector.

2.9.12 Oficinas de Representación y Sucursales de Bancos Extranjeros

La SHCP podrá autorizar el establecimiento en el territorio nacional de oficinas de representación y de sucursales de entidades financieras del exterior. Las actividades que realicen dichas oficinas de representación y sucursales se sujetarán a las reglas que expida la SHCP y a las orientaciones que de acuerdo con la política financiera señalen la propia Secretaría y el Banco de México.

2.9.13 Grupos Financieros

Los grupos financieros son empresas autorizadas por la SHCP, controladoras de las acciones de por lo menos dos instituciones financieras, creadas bajo la Ley para Regular las Agrupaciones Financieras. Los grupos a los que se refiere la ley citada estarán integrados por una sociedad controladora y por algunas de las entidades financieras siguientes: almacenes generales de depósitos, casas de cambio, instituciones de fianzas, instituciones de seguros, sociedades financieras de objeto limitado, casas de bolsa, instituciones de banca múltiple, así como sociedades operadoras de inversión o de administración de fondos para el retiro. Los grupos financieros podrán formarse con cuando menos dos tipos diferentes de las entidades financieras siguientes: instituciones de banca múltiple, casas de bolsa e instituciones de seguros. En los casos en que el Grupo no incluya a dos de las entidades financieras mencionadas, deberá contar por lo menos con tres tipos diferentes de entidades financieras de las citadas en el párrafo anterior, que no sean sociedades de inversión o administradoras de fondos para el retiro.

2.9.14 Sociedades de información Crediticia

Son sociedades cuya finalidad es la prestación de servicios de información sobre operaciones activas y otras de naturaleza análoga, realizadas por entidades financieras. Las sociedades de información crediticia están reguladas por la Ley para Regular las Agrupaciones Financieras.

2.9.15 Institutos Auxiliares de Crédito

Se consideran organizaciones auxiliares del crédito las siguientes: almacenes generales de depósito; arrendadoras financieras; sociedades de ahorro y préstamo; uniones de crédito; empresas de factoraje financiero, y las demás que otras leyes consideren como tales. Para efectos de la Ley General de Organizaciones y Actividades Auxiliares del Crédito, se considera actividad auxiliar del crédito, la compra-venta habitual y profesional de divisas. Las sociedades que autorice la SHCP para operar como organizaciones del crédito y casas de cambio, a excepción de las sociedades de ahorro y préstamo, deberán constituirse en forma de sociedad anónima.

2.9.16 Almacén General de Depósitos

Tiene por objeto el almacenamiento, guarda o conservación de bienes o mercancías y la expedición de certificados de depósitos y bonos de prenda. Sólo los almacenes generales de depósito están facultados para expedir certificados de depósito y bonos en prenda.

2.9.17 Arrendadoras

Son empresas que arriendan activos fijos a los agentes económicos, bajo esquemas de arrendamiento puro o financiero, otorgando la opción de compra del activo al vencimiento del contrato.

2.9.18 Sociedades de Ahorro y Préstamo

Son personas morales con personalidad jurídica y patrimonio propios, de capital variable, no lucrativas, en las que la responsabilidad de los socios se limita al pago de sus aportaciones. Tendrán por objeto la captación de recursos exclusivamente de sus socios, mediante actos causantes de pasivos directos o contingentes, quedando la sociedad obligada a cubrir el principal y, en su caso, los accesorios financieros de los recursos captados. La

colocación de los recursos captados se hará únicamente en los propios socios o en inversiones en beneficio mayoritario de los mismos.

2.9.19 Unión de Crédito

Es una organización que agrupa a socios con una actividad común (agrícola, ganadera, industrial, etc.), con el fin de facilitar el uso del crédito a sus socios por medio de préstamos entre éstos o bien por medio de bancos, aseguradoras, proveedores u otras uniones de crédito, mediante el otorgamiento de su garantía o aval.

2.9.20 Factoraje

Es la actividad en la que mediante un contrato que celebra la empresa de factoraje financiero con sus clientes, personas morales o físicas que realicen actividades empresariales, la primera adquiere de los segundos derechos de crédito relacionados con la proveeduría de bienes, de servicios o de ambos, pudiendo o no, absorber la responsabilidad del cobro mediante el pago de un diferencial.

2.9.21 Casa de Cambio

Es una empresa que se dedica a la realización de operaciones de compra y venta de divisas en forma habitual y profesional.

2.9.21 Mercado de Valores

Se considera intermediación en el mercado de valores la realización habitual de:

- Operaciones de correduría, de comisión u otras, tendientes a poner en contacto la oferta y la demanda de valores
- Operaciones por cuenta propia, con valores emitidos o garantizados por terceros, respecto de las cuales se haga oferta pública
- Administración y manejo de carteras de valores propiedad de terceros. Son valores las acciones, obligaciones y demás títulos de crédito que se emitan en serie o en masa

Los intermediarios en el mercado de valores tendrán el carácter de casas de bolsa o de especialistas bursátiles y deberán estar constituidos como sociedades anónimas.

2.9.22 Bolsa Mexicana de Valores

En 1975 se promulgó la Ley del Mercado de Valores, con la cual la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) dejó de ser una institución de crédito. Las bolsas de valores tienen por objeto facilitar las transacciones con valores y procurar el desarrollo del mercado respectivo. Las bolsas de valores deberán constituirse como sociedades anónimas de capital variable.

2.9.23 Casas de Bolsa

Son intermediarios (corredurías) entre oferentes y demandantes de recursos, que además realizan operaciones por cuenta propia con el fin de facilitar la colocación de valores o que coadyuvan a dar mayor estabilidad a los precios de éstos. Las casas de bolsa también prestan servicios de asesoría financiera y están constituidas como sociedades anónimas de capital variable.

2.9.24 Especialistas Bursátiles

Los especialistas bursátiles son figuras que considera la Ley del Mercado de Valores y que pueden actuar como intermediarios, por cuenta propia o ajena, de los valores en que se encuentren registrados como especialistas en la bolsa de valores de que sean socios. Los especialistas bursátiles brindan mayor liquidez y diversificación a los mercados financieros.

2.9.25 Sociedades Operadoras de Inversión

Son sociedades anónimas cuyo objeto es la prestación de servicios de administración de las sociedades de inversión, así como los de distribución y recompra de las acciones de estas últimas. Los servicios que prestan las sociedades operadoras pueden ser realizados igualmente por casas de bolsa e instituciones de crédito. Las sociedades de inversión tienen por objeto la adquisición de valores y documentos seleccionados de acuerdo a cierto criterio de diversificación de riesgos, con recursos provenientes de la colocación de las acciones representativas de su capital social entre el público accionista. Los tipos de sociedades de inversión son:

comunes, de deuda y de capitales. El régimen de inversión de las sociedades estará sometido a determinados criterios de diversificación de riesgos, fomento de actividades prioritarias, seguridad, liquidez y rentabilidad.

2.9.26 Registro Nacional de Valores e Intermediarios

El Registro Nacional de Valores e Intermediarios (RNVI) es el registro de todos aquellos valores que cotizan en bolsa y de sus intermediarios. Este registro es público y se forma con tres secciones: la de valores, la de intermediarios, así como una especial, y está a cargo de la CNBV, la cual lo organiza de acuerdo con lo dispuesto en la Ley del Mercado de Valores.

2.9.27 Instituciones para el Depósito de Valores (INDEVAL)

Son sociedades anónimas de capital variable, constituidas mediante concesión del Gobierno Federal, para la guarda, administración, compensación, liquidación y transferencia de valores que marca la Ley del Mercado de Valores.

2.9.28 Calificadora de Valores

Son empresas que dictaminan la calidad de acciones o valores, con base a ciertos criterios de calificación de instrumentos.

2.9.29 Compañías de Seguros

Son sociedades anónimas de capital variable, cuyo objetivo exclusivo es practicar operaciones de seguros, reaseguro y refinanciamiento, en los términos que establece la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros.

2.9.30 Sociedad Mutualista de Seguros

Son sociedades mercantiles, cuyo objetivo es celebrar las operaciones de seguros sin obtener lucro o utilidad para la sociedad o sus socios, debiendo cobrar sólo lo indispensable para cubrir los gastos generales derivados de su gestión y para constituir las reservas necesarias a fin de cumplir las obligaciones con los asegurados.

2.9.31 Compañías Afianzadoras

Son instituciones cuyo objeto es el de otorgar fianzas a título oneroso, así como a las instituciones que sean autorizadas para practicar operaciones de reafianzamiento. Las instituciones de fianzas están reguladas por la Ley Federal de Instituciones de Fianzas.

2.9.32 Administradora de Fondos de Retiro (AFORE)

Es una institución financiera cuyo objeto es dedicarse de manera exclusiva, habitual y profesional a administrar las cuentas individuales de los trabajadores; canalizar los recursos de las subcuentas que las integran, en los términos de las leyes de seguridad social, y administrar las sociedades de inversión.

2.9.33 SIEFORE

Es una sociedad de inversión especializada en fondos para el retiro. Es la entidad financiera a través de la cual las Afores invierten el ahorro para el retiro de los trabajadores.

2.10 Instrumentos Financieros

2.10.1 Acciones

Se denomina *Activo* a cualquier cosa que tenga valor económico, y el término *Instrumento Financiero* o *Activo Financiero* son los valores: oro, dinero y créditos contra terceros, así como el nombre genérico que se le da a las inversiones mobiliarias (acciones, obligaciones, bonos, etc.) y se refiere a activos de tipo financiero. Las *Acciones* son partes iguales en que se divide el capital social de una empresa. Parte o fracción del capital social de una empresa como tal. Estas acciones se pueden clasificar en:

- **Acción al Portador:** Son las acciones suscritas nominalmente. Pueden ser traspasadas por simple compraventa en la Bolsa de Valores.
- **Acciones comunes:** Aquellas que, de acuerdo con los estatutos sociales de la emisora, no tienen calificación o preferencia alguna. Tienen derecho a voto general interviniendo en todos los actos de la vida de la empresa (tales como elegir al consejo de administración o decidir las políticas de

la empresa). Sólo tendrán derecho a dividendos después de que se haya cubierto a las acciones preferentes. También se denominan acciones ordinarias.

- Acciones Convertibles: Aquellas que se emiten con ciertos privilegios adquiriendo, en un tiempo predeterminado, privilegios adicionales o distintos a los originales.
- Acciones Preferentes: Aquellas que gozan de ciertos derechos sobre las demás acciones que conforman el capital social de una empresa. Dichos derechos se refieren generalmente a la primacía de pago en el caso de liquidación, así como a la percepción de dividendos. Se emite con un dividendo determinado que debe pagarse antes de que se paguen dividendos a los tenedores de acciones ordinarias. Generalmente no tienen derecho a voto.

El *Valor nominal* es el precio de referencia, expresado en moneda nacional, que aparece en los títulos en el momento de su emisión, como expresión de parte del capital contable que represente y como antecedente para definir el precio de su suscripción. En los títulos de deuda, el valor nominal es el valor del título a vencimiento.

La *Compensación* se entenderá como el mecanismo de determinar contablemente los importes y volúmenes a intercambiar de dinero y valores entre las contrapartes de una operación.

La *Posición Corta* es el término que describe la posición del vendedor en un contrato financiero, y la *Posición Larga* se refiere al término que describe la posición del comprador.

2.10.2 Bonos

Los *Bonos* son Títulos de deuda emitidos por una empresa o por el Estado. En ellos se especifica el monto a rembolsar en un determinado plazo, las amortizaciones totales o parciales, los intereses periódicos y otras obligaciones del emisor. Una posible clasificación es:

- Bonos Brady: Obligación emitida por gobiernos soberanos de mercados emergentes en sustitución de deuda bancaria como consecuencia de una renegociación entre el deudor y sus acreedores.
- Bono Basura: Bonos que se emiten con muy pocas o ninguna garantía o valor de liquidación; típicamente ofrecen altos intereses y muy alto riesgo. Este tipo de bonos ha sido instrumento

muy popular para la compra de paquetes de acciones que permitan el control de una empresa, las fusiones y las adquisiciones.

- Bonos con Cupón. Bono en el que se obliga al emisor a realizar pagos periódicos de interés (llamados pagos de cupón) al tenedor del bono durante la vida de este último.
- Bono con Prima: bono cuyo precio de mercado es mayor que su valor nominal
- Bono a la Par: bonos de cupón con un precio de mercado igual a su valor nominal.
- Bonos de Descuento Puro: llamados también bonos cupón cero. Bonos que prometen un pago único de efectivo en una fecha futura, llamada fecha de vencimiento
- Bonos Indexados: bonos cuyo interés y principal se denominan en términos de una canasta de bienes y servicios que se utiliza para calcular el costo de vida de un país en particular.

2.10.3 Forward

El *Contrato Forward* es el realizado por dos partes que acuerdan comprar o vender un artículo específico en una fecha futura. Difiere de un futuro en que es contratado directamente entre las partes, sin intervención de una cámara de compensación y sólo puede realizarse hasta su vencimiento. El *Precio Forward* se conoce como el precio preestablecido, es el precio de entrega de un producto, especificado en el momento de realizar el contrato, que hace que el valor del contrato sea igual a cero.

2.10.4 Derivados

Los *Derivados* son el conjunto de instrumentos financieros (implementados a partir de 1972) cuya principal característica es que están vinculados a un valor subyacente o de referencia (títulos representativos de capital o de deuda, índices, tasas, y otros instrumentos financieros). Los productos derivados surgieron como instrumentos de cobertura ante fluctuaciones de precio en productos agroindustriales (commodities), en condiciones de elevada volatilidad. Los principales derivados financieros son: futuros, opciones sobre futuros, warrants y swaps.

2.10.5 Futuros

El *Contrato de Futuro* es un contrato estandarizado en plazo, monto, cantidad y calidad, entre otros, para comprar o vender un activo subyacente, a un cierto precio, cuya liquidación se realizará en una fecha futura

determinada. Si en el contrato de Futuro se pacta el pago por diferencias, no se realizará la entrega del activo subyacente. De acuerdo con el subyacente es como se determina el tipo de futuro.

2.10.6 Opciones

El *Contrato de Opción* es un contrato estandarizado, en el cual el comprador, mediante el pago de una prima, adquiere del vendedor el derecho, pero no la obligación de comprar o vender un activo subyacente a un precio pactado en una fecha futura, y el vendedor se obliga a vender o comprar, según corresponda, el activo subyacente al precio convenido. El comprador puede ejercer dicho derecho, según se haya acordado en el contrato respectivo. Si en el contrato de opción se pacta el pago por diferencias, no se realizará la entrega del activo subyacente. El *Precio Strike o de Ejercicio* es el precio fijo especificado para entrega inmediata de un artículo en un contrato de *opción*.

2.10.7 Obligaciones

Las *Obligaciones* son Títulos de crédito que representa la participación individual de los tenedores en un crédito colectivo a cargo de una sociedad anónima

2.10.8 Swaps

Los *Swaps* son contratos privados en los que las partes se comprometen a intercambiar flujos financieros en fechas posteriores, las que deben quedar especificadas al momento de la celebración del contrato. El swap es un instrumento utilizado para reducir el costo y el riesgo del financiamiento, o para superar las barreras de los mercados financieros. También se denomina permuta financiera.

2.10.9 Warrants

Los *Warrant* son Títulos opcionales de compra o de venta emitidos por intermediarios bursátiles o empresas. A cambio del pago de una prima, el tenedor adquiere el derecho opcional de comprar o vender al emisor un determinado número de valores a los que se encuentran referidos, a un precio de ejercicio y dentro de un plazo estipulado en el documento.

2.10.10 Títulos

Los *Títulos* son los documentos que representan el derecho que tiene su poseedor sobre un capital o crédito. Estos documentos son objeto de comercio y su cesión o endoso transfiere la propiedad o derechos implícitos, donde una clasificación es:

- Títulos accionarios: son simplemente las Acciones.
- Títulos de deuda: son instrumento que representa un compromiso por parte del emisor, quien se obliga a restituir el capital en una cierta fecha de vencimiento. El título es emitido a valor nominal, debe especificar los intereses y amortizaciones si los hubiera.

Conclusiones

PRIMERA. La Ingeniería Financiera es un área de la ingeniería que es muy útil para la toma de decisiones financieras y bursátiles, ya que nos da elementos con los cuales se pueden comparar las diferentes opciones y determinar cuál es la mejor de todas las opciones.

SEGUNDA. Los diferentes Sistemas Financieros existentes en la actualidad, son entidades fundamentales para la economía de los Estados, que repercute en las empresas y por ende en los individuos. Un adecuado conocimiento de estos sistemas nos permitirá aprovechar mejor las oportunidades que nos ofrecen para invertir.

TERCERA. La Bolsa Mexicana de Valores (BMV) es la entidad que se encarga de ofrecer a los inversionistas las diferentes opciones existentes en el mercado nacional, así como permite que las empresas que necesitan financiación la obtengan mediante la emisión de activos financieros.

CAPÍTULO 3

TEORÍA DE PORTAFOLIO

Introducción

El presente capítulo describe las teorías actuales sobre las inversiones, como son la Teoría del Riesgo y Teoría Moderna de Portafolio, también se resumen sus conceptos mas importantes y utilizados actualmente por una gran cantidad de inversionistas en todo el mundo.

En la Teoría de Riesgo se plantean los diferentes riesgos que existen y la forma en que se pueden minimizar o eliminar en algunos casos especiales. También se indica la forma de evaluar el riesgo mediante parámetros estadísticos

La Teoría Moderna de Portafolio se basa en el mercado eficiente e inversionistas que desean obtener las mayores ganancias posibles con un riesgo mínimo asociado. Esta teoría se utiliza para conformar portafolios de inversión, es decir, conjunto de valores en los cuales invertir para obtener ganancias máximas y un riesgo mínimo.

Este capítulo consta de información actual de teoría de riesgo y teoría de portafolio, además, se consultaron específicamente los libros originales escritos por el que se considera como el padre de la Teoría de Portafolio, Markowitz. Todo lo anterior para poder fundamentar la presente investigación.

TEORÍA DE PORTAFOLIO

3.1 Conceptos Estadísticos

La estadística es la ciencia que se ocupa de la clasificación y análisis del conjunto de datos procedentes de la observación o la experimentación. Tanto como por el método empleado como por el fin perseguido, suele distinguirse entre estadística descriptiva y estadística inductiva. La primera, requiere solamente conocimientos matemáticos elementales, pretende la descripción sintética de conjuntos que, por el gran número de elementos que los componen, presenta dificultades a la comprensión práctica, sobre todo en lo referente a la comparación o relación con otros conjuntos de datos, como la teoría matemática de las probabilidades, aprovecha los conceptos elaborados en la estadística descriptiva para obtener, partiendo del estudio de ciertos conjuntos parciales denominados muestras, la descripción del conjunto total o población, o bien ciertas relaciones con otras poblaciones de composición ideal o realmente existentes, de las que se conoce su descripción sintética, por ser un supuesto teórico o por haber sido obtenidas a partir de muestras. La tipificación de los procedimientos seguidos en esta investigación conduce a la formación de técnicas, que constituye n los “métodos estadísticos”.

Los datos que estudia la estadística por ser fruto de las observaciones o de la experimentación, no se refieren a fenómenos considerados científicamente como causales (en los que el efecto sigue necesariamente la causa), sino que corresponden a los fenómenos denominados aleatorios o de azar, en los que por el imperfecto conocimiento de la causa, del proceso que lleva al resultado o de ambos, no se sigue necesariamente un acontecimiento cierto. El resultado es incierto, sabiendo tan solo de él que forma parte de un conjunto (conjunto de posibilidades); es el que cada elemento lleva asociado un número expresivo de su grado de probabilidad. Así, por ejemplo, en una carrera de caballos no se puede saber con seguridad, o predecirse con certeza, cuál de ellos resultará ganador, pero pueden estudiarse las probabilidades o posibles vencedores, que en cierto modo se deducen de las sumas apostadas. En este caso, el fenómeno aleatorio es la carrera de caballos, el conjunto de posibilidades los caballos participantes, y las probabilidades respectivas pueden ser, con cierta aproximación, los porcentajes que se ofrecen en las apuestas.

Las series de datos sobre mortalidad, natalidad, importación y exportación, productividad, opinión pública, calidad de productos, delincuencia, meteorología, eficacia de un fármaco, estatura y peso de cierta categoría de personas, población activa, etc. , ofrecen un variado repertorio de fenómeno aleatorios, de los que aquellas presentan multitud de resultados. Estos son cuantitativos y cualitativos; en el primer caso vienen expresados mediante números obtenidos por medida o recuento en el resultado, en el segundo caso los resultados ser refieren

a ciertas categorías, que son clases de equivalencia del total de las posibilidades; por ejemplo el color de los ojos, categoría a) negro, categoría b) azul, categoría c) verde. La estadística descriptiva de fenómenos aleatorios de resultados cuantitativos utiliza para la descripción sintética diversos parámetros que pueden dividirse en centrales y de dispersión. Los primeros expresan, de alguna manera, valores que pueden representar por sí solos todo el conjunto o población: así, la media aritmética, la media geométrica, la moda o valor más frecuente, la mediana, etc.; los segundos tratan de describir el grado de concentración de los datos respecto a uno de estos valores centrales, como la variación, la desviación típica, el coeficiente de variación y los momentos centrales de orden superior. Cuando la descripción alcanza las relaciones entre los conjuntos de datos, se emplean parámetros que expresan el grado de intensidad de cada relación. Las relaciones mejor conocidas son las denominadas de correlación y regresión. Cuando los datos son cualitativos, se estudian también las relaciones de dependencia o independencia aleatorias mediante parámetros adecuados.

La estadística inductiva, que ha desarrollado sus técnicas en el muestreo, en el diseño de experimentos y en gran parte de lo que hoy se conoce con el nombre de investigación operativa, es, en definitiva la sustitución del buen sentido o de la intuición, en la programación e interpretación de experimentos y observaciones, por una metodología científica que indica el proceder racional en este campo de la incertidumbre, que no conoce la seguridad, sino solamente la mayor o menor probabilidad de acierto. Se conoce como estadística descriptiva al conjunto de técnicas que se emplean para analizar la información contenida en una muestra que ha sido ordenada. Los tipos de técnicas utilizadas son los parámetros numéricos, gráficas, y la distribución de frecuencias. Los datos pueden ser cualitativos o cuantitativos, los primeros dan información respecto a las cualidades o características de la muestra; los segundos son datos numéricos. Los parámetros numéricos se clasifican en los parámetros de forma, medidas de dispersión, medidas de tendencia central. Las Medidas de Tendencia central en este caso los valores se encuentran dentro del rango de la muestra siendo representativos de la misma. Las medidas de tendencia central se encuentran en el rango de la muestra y son representativas de la misma.

La *Media Aritmética* se denota por \bar{x} y se define de acuerdo a la agrupación de la muestra como sigue:

a) Sean x_1, x_2, \dots, x_n los datos de una muestra sin agrupar, entonces:

$$\bar{x} = [1/n] [\sum_{i=1}^n] \quad (3.1)$$

b) Si los datos pertenecen a una tabla de distribución de frecuencias, entonces:

$$\bar{x} = [1/n][\sum_{i=1}^m x_i f_i] \quad (3.2)$$

donde m es el número de clase, x la marca de clase, f la frecuencia, n el tamaño de la muestra

La *Media* es aquel valor que divide al conjunto de datos en dos conjuntos, con la característica de que estos dos conjuntos tienen el mismo tamaño, se calcula como:

- En datos no agrupados:

$$\bar{x} = X_{(n+1)/2} \quad (3.3)$$

- En datos agrupados:

$$\bar{x} = [X_{n/2} + X_{(n/2+1)}] / 2 \quad (3.4)$$

La *Moda* es el valor que se repite con una frecuencia mayor dentro de la muestra, pudiendo haber más de una moda en una sola muestra.

El *Rango* (R) se define como la diferencia entre el valor mayor (V) y el valor menor (v) de la muestra, se calcula como:

$$R = V - v \quad (3.5)$$

La *Varianza* (σ^2) se define también de acuerdo a si los datos se encuentran agrupados o no dentro de la muestra. esta se calcula como:

- a) Datos sin agrupar, entonces:

$$\sigma^2 = (1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.6)$$

- b) Datos agrupados, entonces:

$$\sigma^2 = (1/n) \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 f_i \quad (3.7)$$

donde f es la frecuencia, x el dato, \bar{x} la media y m el número de clases

La *Desviación Estándar* (σ) de una muestra como el calculo de la raíz cuadrada de la varianza de la muestra, calculando:

$$\sigma = (\sigma^2)^{1/2} \quad (3.8)$$

La *Desviación Estándar* es el parámetro estadístico más utilizado para medir la variación de la distribución de probabilidad de una función. Cuanto mayor es la desviación estándar, mayor es la volatilidad de una acción. Por último se definirá el *Valor Esperado* $E(x)$ de una variables como el valor que se espera que tome una variable, y se utiliza en situaciones de incertidumbre para tomar decisiones basadas en la expectativa de repetir un gran número de veces una situación similar, y así poder determinar el valor esperado de la variable como el resultado de la repetición, se calcula para una distribución de probabilidad como:

a) Distribución de Probabilidad Discreta:

$$E(X) = \sum_{x=1}^n x f_x(x) \quad (3.9)$$

para toda X discreta

b) Distribución de Probabilidad Continua:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx \quad (3.10)$$

para toda X continua

En donde X es una variable aleatoria que presenta una distribución de probabilidad $f_x(x)$ con un valor esperado de la variable X, $E(X)$

3.2 Riesgo

La incertidumbre se refiere al desconocimiento de lo que ocurrirá en un futuro. El riesgo es incertidumbre que afecta a un inversionista. Por lo que se dice que la incertidumbre es condición necesaria pero no suficiente para que exista riesgo, debido a que cada situación riesgosa conlleva incertidumbre, pero no así lo contrario. En situaciones riesgosas los resultados pueden ser ganancias o pérdidas, aunque en ocasiones no sea evidente. La aversión al riesgo se refiere a inversionistas que prefieren alternativas de inversión de menor riesgo por el mismo costo de inversión. Se dice que existe exposición a un riesgo determinado si se enfrenta a un tipo particular de riesgo debido a la naturaleza de la situación en la que se encuentre, por otro lado los especuladores se definen como inversionistas que toman posiciones que aumentan su exposición al riesgo con la esperanza de

aumentar su riqueza. Los inversionistas de cobertura son lo opuesto a los especuladores, ya que toman posiciones para reducir su exposición a riesgos.

3.2.1 Transferencia del Riesgo

La transferencia de riesgo es la acción de pasar el riesgo a otros. Existen tres métodos de transferencia de riesgo:

- Cobertura: es la acción tomada para reducir la exposición a un apequeña pérdida también ocasiona ceder la posibilidad de una ganancia. Por ejemplo los agricultores venden la cosecha a un precio fijo antes de levantar dicha cosecha para evitar el riesgo de un precio bajo en la época de cosecha
- Aseguramiento: esto significa pagar una prima (el precio pagado por el seguro) para evitar pérdidas. Por ejemplo cuando se compra un seguro se sustituye una pérdida mayor(la prima que se paga por la póliza) por la posibilidad de una pérdida mayor si no se asegura.
- Diversificación: significa mantener cantidades similares de muchos activos riesgosos en vez de concentrar toda la inversión en uno solo. Por lo que la diversificación limita la exposición al riesgo de cualquier activo solo

El *Riesgo Diversificable* es parte del riesgo de un valor o título que se puede eliminar al combinarlo con otros activo. Por otro lado, el *Riesgo no Diversificable* es la parte del riesgo de una cartera que no puede eliminarse con la diversificación.

3.2.2 Tolerancia al riesgo

La actitud del inversionista ante el riesgo juega un papel fundamental en la tolerancia al riesgo. La tolerancia al riesgo es lo opuesto a la aversión al riesgo.

3.2.3 Administración del Riesgo

Se entiende en el área de Finanzas como *Administración*, al servicio de pago de los ejercicios de derechos, en especie o en efectivo, que devenguen sobre los valores que se tienen en depósito. La *Administración del Riesgo* es el proceso mediante el cual se identifica, se mide y se controla la exposición al riesgo. Es un elemento esencial para la solvencia de cualquier negocio. La administración de riesgos asegura el cumplimiento de las

políticas definidas por los comités de riesgo, refuerza la capacidad de análisis, define metodología de valoración, mide los riesgos y, establece procedimientos y controles homogéneos. Además, la Administración del Riesgo es un intento sistemático para analizar y manejar el riesgo, este proceso se divide en cinco pasos que son la identificación del riesgo, evaluación del riesgo, selección de técnica de administración del riesgo, implementación y la revisión.

3.3 Teoría de la Cartera

Se define como Teoría de la Cartera al análisis cuantitativo de la administración óptimo del riesgo. Se han desarrollado modelos formales de la teoría de la cartera para tratar esta clase de decisión de administración del riesgo. Entre estos modelos se encuentra el modelo de Markowitz²⁷ estos modelos utilizan la distribución de probabilidades para así poder determinar la compensación entre el riesgo y el rendimiento esperado. En la teoría de carteara se define como rendimiento esperado de activos como la media de la distribución y se define al riesgo como la desviación estándar.

3.3.1 Selección de una Cartera de Inversión

Se denomina “Selección de una Cartera (o Portafolio de Inversión)” al proceso que se realiza para determinar la mejor opción para invertir cierto capital. Este proceso es una compensación entre el riesgo y el rendimiento esperado de la inversión. En la selección de cartera la mejor opción depende de cada inversor, ya que lo que un activo puede incrementar el riesgo a un inversor y otro diferente puede que le aumente las ganancias y reduzca su riesgo. La *Cartera de Mercado* es la cartera que contiene todos los activos con proporción a sus valores totales de mercado vigentes. La *Cartera Eficiente* es una cartera que ofrece al inversionista la máxima tasa esperada de rendimiento a un nivel específico de riesgo. La *Cartera de Varianza Mínima* es una cartera cuyos activo riesgosos poseen la menor varianza posible.

3.3.2 Horizonte de Tiempo

Cuando se formula un plan de selección de cartera se debe determinar tanto los objetivos como los horizontes de tiempo. Se define como Horizonte de Planeación a la duración total para el que se hacen planes. Así mismo, se define como Horizonte de Decisión el lapso de tiempo que transcurre entre las decisiones de revisión de la cartera. Hay inversionista que revisan diariamente sus carteras de inversión. Se conoce como Horizonte de

²⁷ Harry Markowitz que publico su artículo en el *Journal of Finance* en 1952, que se tituló “*Portafolio Selection*”

Negociación al tiempo mínimo durante el cual los inversionistas pueden revisar sus inversiones. La decisión de negociación es determinada por los mercados en la economía. Se denomina Estrategia al plan que toma en cuenta las decisiones futuras al tomar decisiones actuales.

3.3.3 Compensación entre el Riesgo y el Rendimiento

La optimización de una cartera de inversión se realiza generalmente en dos pasos: primero, se determina la combinación óptima entre los activos riesgosos, y segundo, se combina esta cartera óptima con activos no riesgosos. La cartera de un solo activo riesgoso se compone de varios activos riesgosos que fueron determinados de manera óptima. Se define "Activo Sin Riesgo" al activo cuyo valor ofrece una tasa de rendimiento perfectamente predecible en términos de la unidad de cuenta seleccionada para el análisis y la duración del horizonte de decisión del inversionista. En el caso de que no se identifique un inversionista específico, se define este activo como aquel que ofrece una tasa de rendimiento predecible en el horizonte de la negociación.

3.4 Teoría Moderna de Portafolio

Esta teoría se basa en un cierto número de consideraciones: como que la mayoría de los participantes del mercado poseen información respecto al mercado, se considera que los inversionistas son adversos al riesgo, donde el riesgo se mide mediante la variabilidad del ratio del rendimiento, se asume que los inversionistas prefieren un alto ratio de rendimiento a un bajo ratio de rendimiento, e considera que los inversionistas desean maximizar el rendimiento y minimizar el riesgo, se considera que todas las decisiones son tomadas en base a la expectativa del ratio de rendimiento y al riesgo esperado o la expectativa de la desviación estándar del ratio del rendimiento, que las relaciones entre los activos financieros son conocidas (como son el coeficiente de correlación), que el riesgo y el rendimiento de un portafolio dado se disminuyen al incrementarse el número de activos financieros dentro del portafolio de inversión, se asume que los ratios de rendimiento y riesgo de un activo financiero son calculados para un periodo de tiempo particular y único.

3.4.1 Características de un Portafolio en general

El *Rendimiento de un Portafolio* es simplemente el promedio ponderado del rendimiento individual de los activos del portafolio. Este promedio ponderado aplicado a cada rendimiento es la fracción del portafolio invertido en ese activo. Lo que se representa mediante la siguiente ecuación:

$$R_{pj} = \sum_{i=1}^N X_i R_{ij} \quad (3.11)$$

En donde R_{pj} es el j-esimo rendimiento del portafolio y X_i es la fracción de la inversión total invertida en el i-esimo activo financiero. El rendimiento esperado es un promedio ponderado de los rendimientos esperados sobre cada activo individual, lo que se representa por:

$$R_p = E(R_{pj}) = E \left(\sum_{i=1}^N X_i R_{ij} \right) = \sum_{i=1}^N X_i E(R_{ij}) = \sum_{i=1}^N X_i R_i \quad (3.12)$$

El segundo elemento característico es la Varianza (σ^2) de un portafolio es el valor esperado de la desviación cuadrada del rendimiento del portafolio respecto a la media del rendimiento del portafolio, la ecuación que lo representa es:

$$\sigma^2 = E \left(R_p - \bar{R}_p \right)^2$$

$$\sigma^2 = \left[\sum_{j=1}^N X_j^2 \sigma_j^2 + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1, k \neq j}^N X_j^2 X_k^2 \sigma_{jk}^2 \right] \quad (3.13)$$

en donde X_j es la fracción o proporción invertida del total del portafolio en el activo j, σ_j^2 es la desviación estándar el activo j, $(X_j^2 X_k^2 \sigma_{jk}^2)$ representa la covarianza (o coeficiente de correlación) del activo financiero j respecto al activo k y σ_{jk}^2 representa la varianza del activo i respecto al j.

El coeficiente de correlación (ρ_{ij}) también se calcula como:

$$\rho_{ij} = (\sigma_{ij} / \sigma_i \sigma_j) = (\beta_i \beta_j \sigma_m^2) / (\sigma_i \sigma_j)^{28} \quad (3.14)$$

²⁸ Vid. *Infra. Sec. 3.4.5 TEORÍA MODERNA DE PORTAFOLIO MEDIANTE EL ANÁLISIS BETA*

donde $\sigma_{ij} = \sum_{t=1}^n P_t ([r_{it} - E(r_i)][r_{jt} - E(r_j)])$, y P_t es la probabilidad de ocurrencia del rendimiento, r_{it} es el rendimiento actual de la inversión i en el tiempo t , $E(r_i)$ representa el rendimiento esperado de la inversión i o la media del promedio del rendimiento para la inversión i . Por otro lado, r_{jt} , $E(r_j)$ representan lo mismo respecto a la inversión j . Por ultimo la Desviación estándar se define como la raíz cuadrada de la desviación estándar, que se calcula como:

$$\sigma = (\sigma^2)^{1/2} \quad (3.15)$$

3.4.2 Modelo estándar media-varianza del Portafolio de Selección

En este modelo, un inversionista puede escoger las fracciones X_1, X_2, \dots, X_n para invertir en n activos financieros sujetos a las restricciones:

$$\sum_{i=1}^N X_i = 1$$

$$X_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.16)$$

Suponiendo que el rendimiento en este periodo sobre cada activo r_1, r_2, \dots, r_n son de variables de distribución aleatoria, y el rendimiento del portafolio es:

$$R = \sum_{i=1}^N X_i r_i \quad (3.17)$$

Donde el *Rendimiento Medio Esperado* (E) sobre el portafolio es $E = \sum_{i=1}^N X_i \mu_i$, donde $\mu_i = E(r_i)$

La varianza V del rendimiento del portafolio es:

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_i X_j \sigma_{ij} \quad (3.18)$$

Donde $\sigma_{ij} = E [(r_i - \mu_i) (r_j - \mu_j)]$ es la covarianza entre r_i y r_j , en particular $\sigma_{ij} = E (r_i - \mu_i)^2 = V (r_i)$, si se desea realizar lo anterior mediante matrices²⁹, entonces se tiene que:

$$\mu' = (\mu_1, \dots, \mu_n)$$

$$X' = (X_1, \dots, X_n)$$

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \dots & \sigma_{1n} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \sigma_{n1} & \dots & \sigma_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$E = \mu' X$$

$$V = X' C X$$

3.4.3 Teoría de Portafolio y diversificación

La teoría de portafolio de Markowitz requiere de tres variables para determinar la composición eficiente de un portafolio de inversión que son el rendimiento, la desviación estándar y el coeficiente de correlación. Con los datos anteriores se determina el rendimiento esperado y el riesgo esperado de un portafolio, y con esta última información es determinado la composición eficiente del portafolio. La diversificación de Markowitz consiste en la selección de un portafolio que contenga varios activos diferentes de tal forma que el riesgo se minimice, ya que la diversificación de activos implica la disminución del riesgo ya que cada uno de estos activos posee distinta desviación estándar o riesgo y en conjunto dará como resultado un menor riesgo.

²⁹ Vid. *Infra*. ANEXO-1 *Uso de Notación Matricial*

3.4.4 Frontera Eficiente

La frontera eficiente es un concepto básico de la teoría de portafolio, en la que se asume que en un mercado existe un complejo número de activos en los que se puede invertir. Cada uno de los cuales posee su rendimiento esperado y su desviación estándar y muchos activos poseen el mismo rendimiento esperado pero con desviación estándar diferente o viceversa. Por lo que el inversionista deberá seleccionar los activos con mayor rendimiento esperado y menor desviación estándar. La siguiente Figura 3.1 se muestra la frontera eficiente como la curva en donde se encuentran los posibles portafolios de inversión en los que al invertir se puede minimizar el riesgo al minimizar la desviación estándar y obtener ganancias. Cada punto de la curva representa un portafolio de inversión específico con un determinado número de activos financieros.

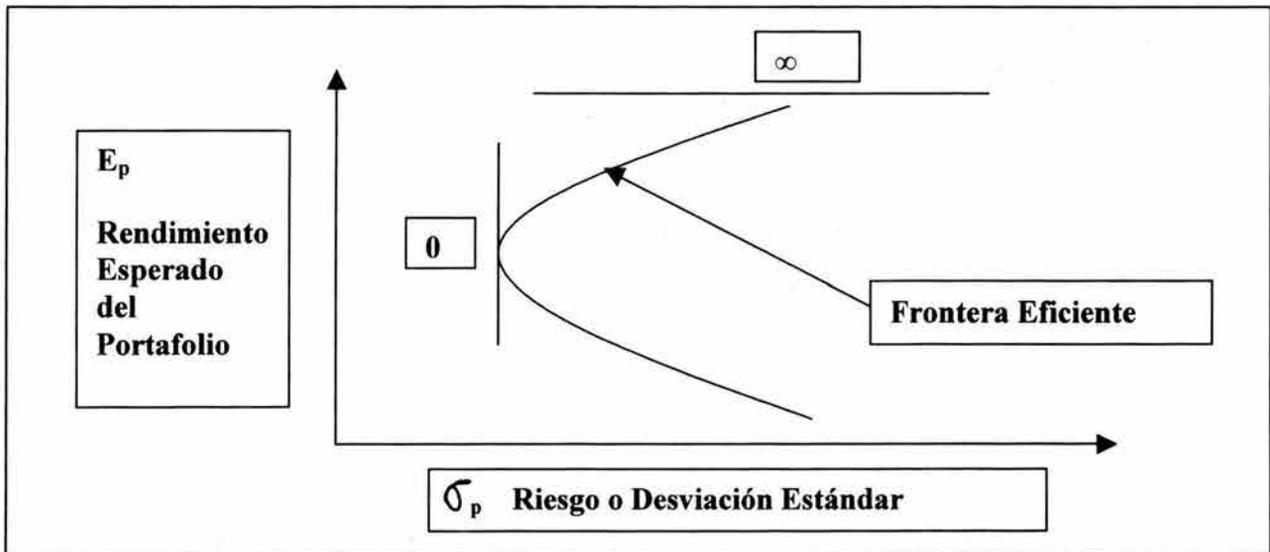


Figura 3.1 Frontera Eficiente

3.4.5 Teoría Moderna de Portafolio mediante en Análisis Beta

Los principios de la aplicación de la diversificación de Markowitz requieren el uso de un modelo de computo complejo debido al calculo de la correlación de los activos, por esta razón se desarrollo el análisis Beta, mediante el cual se conforma un portafolio de inversión. El método consiste en el análisis de regresión aplicado a los datos de un activo financiero. Los datos utilizados son el rendimiento

periódico de un activo y la relación existente entre el rendimiento activo de un activo y el rendimiento anual del mercado. Generalmente los inversionistas que utilizan el análisis beta y la teoría moderna de portafolio asumen que los precios de los activos son independientes y no pueden ser utilizados para pronosticar los futuros precios con exactitud. Debido a que no se pueden pronosticar con exactitud, entonces no es posible predecir el comportamiento del mercado sin tener cierto grado de incertidumbre. Las betas (β_i) de los activos financieros son inestables, aunque las betas (β_P) de los portafolios son estables, por esta razón un portafolio puede ser estructurado para determinar el rendimiento del mercado. Alternativamente, dado un nivel aceptable de riesgo, con una beta mayor o menor que 1.0, la selección de un número de activos suficientemente grande puede ser combinada para conseguir el nivel de riesgo deseado. Este tipo de portafolios requerirá entre 35 y 50 diferentes activos riesgoso. En el proceso de diversificación, el riesgo no sistemático de alfa (α) y el error epsilon (ϵ) es reducido a cero, por lo que únicamente permanece el riesgo del mercado y su cuantificación mediante beta. La relación entre el activo financiero y el mercado se establece mediante la ecuación 3.20. en donde Y es la variable dependiente, X la variable independiente, α es la intercepción en el eje Y, β es la pendiente de la línea de regresión cuantificada mediante $\Delta x/\Delta y$, y un factor de error ϵ . Lo anterior se aprecia en la Figura 3.2

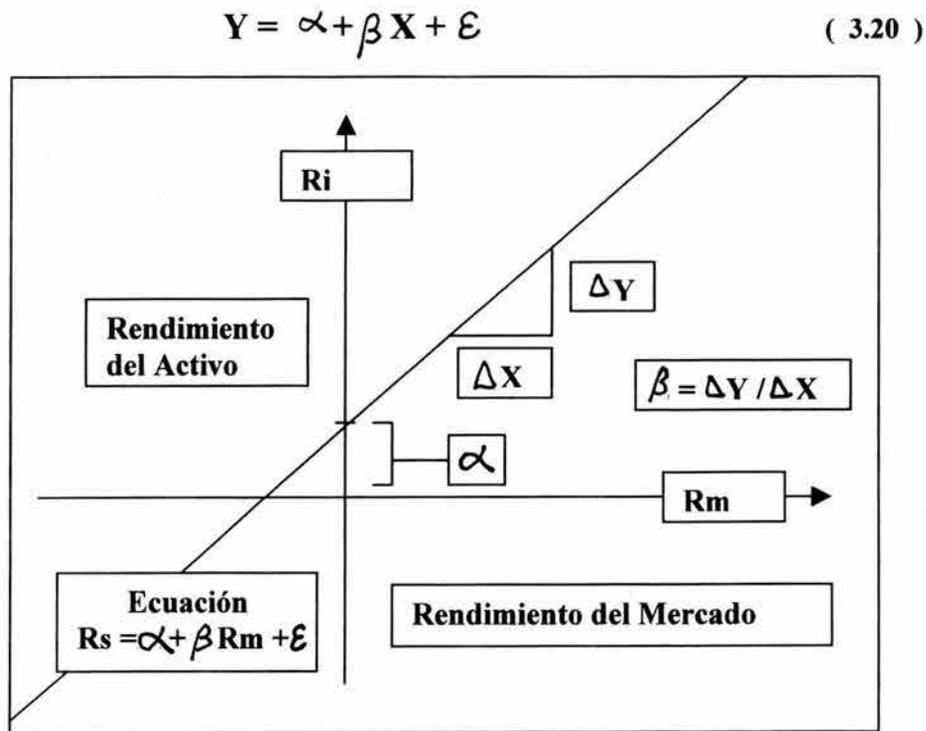


Figura 3.2 Rendimiento del Mercado vs. Rendimiento del Activo

Al aplicar la regresión a activos financieros, la ecuación anterior se transforma en:

$$R_i = \alpha_i + \beta_i R_m \pm \epsilon_i \quad (3.21)$$

Donde R_i es el rendimiento del activo y R_m es el rendimiento del mercado y β es la relación existente entre el rendimiento del activo financiero y el rendimiento del mercado, y α es el valor esperado del componente de la ganancia del mercado. Es necesario hacer notar que tanto R_m como ϵ_i son variables aleatorias con su correspondiente distribución de probabilidad de desviación estándar (σ_{ϵ_i} y σ_m respectivamente). Es conveniente que ϵ_i (distribución normal con media 0) sea no correlacionada con R_m , es decir:

$$\text{Cov}(\epsilon_i, R_m) = E[(\epsilon_i - 0)(R_m - \bar{R}_m)] = 0 \quad (3.22)$$

Lo anterior indica que la ganancia de la emisora no depende de las otras ganancias excepto la del mercado. Otro supuesto importante es que $E(\epsilon_i \epsilon_j)$ es cero para toda i y j , lo que indica que la única razón por la que las emisoras cambian en forma conjunta es debido a un movimiento común con el mercado, por definición tenemos las ecuaciones:

- Varianza del error $\epsilon_i = E(\epsilon_i)^2 = \sigma_{\epsilon_i}^2$
- Varianza del mercado $R_m, \sigma_m^2 = E(R_m - \bar{R}_m)^2 \quad (3.23 \text{ a } 3.27)$
- El rendimiento promedio de $i, (\bar{R}_i) = \alpha_i + \beta_i \bar{R}_m$
- La varianza del rendimiento del activo $i, \sigma_i^2 = \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sigma_{\epsilon_i}^2$
- La covarianza del rendimiento entre los activos i y $j, \sigma_{ij} = \beta_i \beta_j \sigma_m^2$

Por lo que resumiendo se obtiene las ecuaciones:

Beta de cada activo:

$$\beta_i = [\sigma_{im} / \sigma_m^2] = (\sum_{t=1}^n [(R_i - \bar{R}_i)(R_m - \bar{R}_m)]) / [(\sum_{t=1}^n (R_m - \bar{R}_m)^2)] \quad (3.28)$$

Alfa de cada activo:

$$\alpha_i = (R_i - \beta_i \bar{R}_m) \quad (3.29)$$

El coeficiente de correlación:

$$\rho_{im} = [\sigma_{im} / \sigma_i \sigma_m] = [\beta_i \sigma_m^2 / \sigma_i \sigma_m] = [\beta_i \sigma_m / \sigma_i] \quad (3.30)$$

Rendimiento del Portafolio:

$$\bar{R}_p = \sum_{i=1}^n X_i \alpha_i + \sum_{i=1}^n X_i \beta_i \bar{R}_m \quad (3.31)$$

Varianza del Portafolio:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i X_j \beta_i \beta_j \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_{e_i}^2$$

$$\sigma_p^2 = [\beta_p^2 \sigma_m^2]^{1/2} = \beta_p \sigma_p = \sigma_m [\sum_{i=1}^n X_i \beta_i]$$

(3.32)

Desviación Estándar del Portafolio:

$$\sigma_p = [\sigma_p^2]^{1/2} \quad (3.33)$$

Beta del Portafolio:

$$\beta_p = \sum_{i=1}^n X_i \beta_i \quad (3.34)$$

Alfa del Portafolio:

$$\alpha_p = \sum_{i=1}^n X_i \alpha_i \quad (3.35)$$

Por lo que se puede expresar:

- El rendimiento del portafolio $\bar{R}_p = \alpha_p + \beta_p \bar{R}_m$ (3.36)

- El riesgo del portafolio $\sigma_p^2 = \beta_p^2 \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_{e_i}^2$ (3.37)

La relación β nos indica el comportamiento del activo respecto al mercado, esta relación se muestra a continuación en la Tabla 3.1

| Variable | Magnitud de la Relación respecto al Mercado | Interpretación de la Relación respecto al Mercado |
|-------------------------|---|---|
| α (alfa) | Positivo | Mejor |
| | Cero | Igual |
| | Negativo | Peor |
| β (beta) | Mayor a 1.0 | Mayor riesgo |
| | Igual a 1.0 | Igual |
| | Menor a 1.0 | Menor Riesgo |
| \mathcal{E} (epsilon) | Mayor que 0.0 | Peor |
| | Cero | Igual |

Tabla 3.1 Análisis mediante el coeficiente Beta 2

Conclusiones

PRIMERA. La Teoría de Riesgo sirve para poder distinguir entre los diversos tipos de riesgo existentes en el mercado, con esto podemos determinar la mejor manera de minimizar el riesgo e incluso transferir dicho riesgo.

SEGUNDA. La Teoría de Portafolio se utiliza para poder evaluar una inversión que consiste en la conformación de una cartera de inversión con varias acciones, en las que se conoce el rendimiento y el riesgo. Y este portafolio se caracteriza por que su rendimiento es el máximo y el riesgo el mínimo posible.

CAPÍTULO 4

ALGORITMOS GENÉTICOS

Introducción

En este capítulo se encuentran los fundamentos históricos de los Algoritmos Genéticos, de la Genética y evolución, así como una breve reseña de los principales pensadores que hicieron posible la actual metodología de los Algoritmos Genéticos.

Los Algoritmos Genéticos son algoritmos que están basados en la forma en que la naturaleza actúa al escoger los individuos mediante la selección natural, la evolución y la mutación. Lo que sirve para producir nuevas generaciones, que son mejores en muchos aspectos a sus antecesores.

Se describen los operadores Genéticos, su función y la manera en que se pueden adaptar una gran variedad de problemas para encontrar una solución óptima, aunque se debe reconocer que no es la mejor solución de todas, pero se puede acercarse bastante a esta solución.

Los Algoritmos Genéticos se utilizan en una gran variedad de problemas, incluyendo la selección de portafolios de inversión. Por esta razón se efectuó una exhaustiva investigación para fundamentar adecuadamente la aplicación de esta tesis.

ALGORITMOS GENÉTICOS

4.1 Genética

La Genética es la parte de la biología que estudia la transmisión de los caracteres o cualidades de una generación a otra. El conjunto de las características que constituyen el aspecto de un individuo se llama Fenotipo, y la suma de caracteres hereditarios que se transmiten de generación en generación es lo que en biología se llama Genotipo. El reconocimiento de un carácter genotípico depende de la posibilidad de aislamiento de una especie pura dentro de una población no seleccionada, lo cual se puede obtener fácilmente en los vegetales mediante la autofecundación. Un carácter hereditario, aislado de este modo, revela una variabilidad muy restringida de las condiciones de desarrollo y no suele modificar en generaciones sucesivas, aunque se intente aislarlo de variantes extremas o patológicas creadas por la alteración del ambiente: de aquí se deduce que la falta de poder hereditario de los caracteres adquiridos. Con los procedimientos empleados para el aislamiento de las especies puras se ha podido demostrar que la selección de una variante o de un carácter puede realizarse únicamente a partir de individuos que sean híbridos; después de algunas generaciones, es decir, una vez que se ha llegado a poner de manifiesto el carácter genotípico, la selección no tiene ya efecto: en otras palabras, de determinadas personas no se puede obtener más que los caracteres hereditarios que poseían originalmente. Del mismo modo, los estudios de la ciencia Genética han demostrado que los caracteres genotípicos se transmiten según leyes fijas, las famosas leyes de Mendel³⁰.

Del cruzamiento de dos individuos que provengan de dos líneas puras diferentes entre sí por un carácter, la primera generación puede presentar tan solo uno de ellos, en este caso se dice que aquel carácter es dominante, mientras que el otro se llama recesivo. De los nacidos del cruce de individuos de la primera generación, los $\frac{3}{4}$ presentan todavía el carácter dominante, mientras que en los otros aparece el carácter recesivo. La interfecundación entre estos segundos grupos de individuos recesivos origina individuos que presentan el cada caso el carácter recesivo, mientras que solo $\frac{1}{4}$ de los individuos de carácter dominantes se muestran genotípicamente puros, y los $\frac{2}{4}$ restantes dan lugar a individuos que presentan los dos caracteres en la proporción 3:1. Del cruce de dos híbridos se obtienen, por lo tanto, razas puras. Este Fenómeno recibe el nombre de Ley de Segregación de los Caracteres y se justifica admitiendo que los dos elementos que se toman como punto de partida dependen de factores distintos, llamados Genes, que residen en los cromosomas de los progenitores en forma de parejas; los dos elementos de esta pareja reciben el nombre de Alelos. Los Alelos son

³⁰ Vid. *Infra. Sec. 4.3 GREGOR MENDEL*

iguales en los individuos de raza pura y, por el contrario son diferentes en los híbridos que presentan fenotípicamente el carácter de alelo dominante. En las células reproductoras o Gametos los factores están presentes como unidad, es decir, que cada gameto contiene un único alelo para un determinado carácter, y en la fecundación se constituyen las parejas, por lo cual tiene lugar el nacimiento de individuos que presentan los caracteres en las proporciones ya enunciadas. Si el estudio se efectúa sobre individuos diferentes en dos caracteres, los experimentos demuestran que cada uno de estos caracteres se comporta independientemente del otro: de aquí la segunda Ley de Mendel, la de la Independencia de los Caracteres.

La Genética admite que el fenómeno de la Dominancia no sea constante y que puede haber caracteres fenotípicos intermedios; admite que en la dominancia puede variar con la edad, con el ambiente o con el sexo; en todo caso queda demostrado que en los gametos en los que existe un solo alelo deben considerarse puros; con esto se respeta la Primera Ley Mendeliana. También se ha demostrado que para un solo carácter existen más de dos alelos, pero en todo individuo normal existen solo dos de ellos; por otra parte, un carácter fenotípico puede depender de la actividad de varios genes y, viceversa, un gen puede concernir a varios caracteres al mismo tiempo. Se ha comprobado que los factores hereditarios, llamados genes, residen en los cromosomas; los alelos están localizados en dos cromosomas homólogos de las células somáticas y en los gametos, cuyo patrimonio cromosómico es la mitad del de las células somáticas: aparece, pues, un único alelo, de acuerdo con lo previsto en las leyes de Mendel. Un individuo dotado de un conjunto cromosómico en el que los dos alelos relativos a un mismo carácter sean iguales, se llama homocigótico (para aquel carácter); si los dos alelos son distintos, el individuo es heterocigótico y su carácter fenotípico dependerá del alelo dominante. Todo Gen, o mejor dicho, ocupa en el cromosoma un puesto fijo; esta afirmación se demuestra observando algunas limitaciones de la ley de independencia de los caracteres presentados en la genética experimental.

Esta Genética ha demostrado que determinados caracteres están asociados, es decir, no sigue la ley anterior y ofrecen un comportamiento de grupo. Un ejemplo claro de este fenómeno es el de los genes localizados en los cromosomas sexuales que determinan los caracteres (y por lo tanto las enfermedades) ligadas al sexo. Otros experimentos biológicos han demostrado que ni siquiera esta asociación es un hecho absoluto, pudiéndose reconocer a través de muchas generaciones una vuelta a la ley de la independencia, fenómeno que se llama recombinación y que se da con cierta frecuencia en cada pareja de genes. Se tiene pruebas fundadas para considerar que el fenómeno de la recombinación se debe a un cambio de materia entre los cromosomas homólogos, que en la meiosis se emparejan antes de dividirse en gametos; es evidente que dos genes contenidos en el mismo cromosoma tienen más probabilidad de ser separados cuanto más alejados se hallen entre sí. La exacta localización de los genes es hoy día perfectamente conocida en muchos casos, pudiéndose trazar con ellos los llamados mapas genéticos de los cromosomas; estos genes están alojados en un lugar determinado del

cromosoma, llamado *locus o loci*. A lo largo de las sucesivas generaciones de una especie es frecuente observar la aparición esporádica de nuevos genes, fenómeno llamado mutación y que no se puede explicar según leyes de la recombinación; la frecuencia de esta aparición depende en parte de factores externos (los rayos X, por ejemplo, provocan la mutación). Se pueden distinguir tres clases de mutación: mutaciones genéticas, por las cuales un gen se transforma en un aleomorfo; mutaciones cromosómicas, en las que resulta alterada la posición de los genes en los cromosomas o es modificada la estructura de estos últimos, y mutaciones de la guarnición cromosómica (cariotipo), en las que se modifica el número de cromosomas propios de una misma especie. En las mutaciones cromosómicas se pueden dar duplicaciones de un segmento cromosómico, particiones (y, por lo tanto, pérdida del material genético), cambios o desplazamientos de un segmento de un cromosoma a otro, inversiones. Las mutaciones, por las alteraciones que producen durante la cariocinesis, pueden ser causa de grandes anomalías fenotípicas, algunas de ellas incluso ser mortales, es decir, no permiten el desarrollo del individuo.

Sobre la base de mutaciones, y especialmente sobre la selección de mutantes favorables, algunos investigadores piensan que se puede aceptar una nueva interpretación de la teoría evolucionista. Entre los numerosos problemas de la Genética tiene especial interés el mecanismo de la acción de los genes, es decir, el estudio de cómo un gen puede llegar a determinar el carácter hereditario. Actualmente se considera que el primer momento reside en una especie de actividad enzimática por la que los genes son capaces de crear proteínas sobre su propia especie; estas proteínas actúan como catalizadores específicos de las reacciones bioquímicas que llevan a la constitución del carácter. En los últimos años se han conseguido grandes progresos en el campo de la genética humana, sobre todo en lo que se refiere al reconocimiento de numerosas enfermedades ligadas a alteraciones del patrimonio cromosómico. Se han constituido un nuevo capítulo de la patología, el de la patología genética, que, además de las numerosas afecciones ya conocidas, reúnen cuadros morbosos, de los cuales no se puede reconocer el posible carácter hereditario causa de la esterilidad de los individuos afectados(síndrome de Down, algunas malformaciones sexuales, etc.). Los principios de esta genética humana han permitido que se puedan prevenir las taras hereditarias en la descendencia de ciertos matrimonios, especialmente en los matrimonios entre consanguíneos, y el estudio de los factores ambientales que pueden favorecer la aparición de mutaciones.

4.2 Nuevas Hipótesis y Concepciones

El primer planteamiento orgánico acompañado de una hipótesis explicativa fue obra (1809) de Jean Baptiste Lamarck³¹, formulándose después las hipótesis de Charles Darwin (1859), de Hugo de Vries (1900) y, en fin, la moderna teoría sintética delineada por varios autores. Llego a desmostarse que los fósiles eran restos de organismos que habían vivido en el pasado, y que eran tanto mas distintos de los actuales y de estructura tanto mas simple, cuanto mas antiguos fueran. Entonces, para explicar su origen, y por lo tanto el origen de los organismos hoy vivientes, era necesario admitir o que los actuales vivientes proceden de los antiguos a través de lentas transformaciones, o bien que los actuales sustituyeron enteramente a los antiguos después de la desaparición total de unos y la creación *ex novo* de otros. La primera explicación constituye la Teoría de la Evolución basada en el principio de las transformaciones; la segunda es la Teoría de los Cataclismos, basado en el principio de que las especies son inmutables, que no evolucionan. Pero las transformaciones evolucionistas son tan lentas, que solo pueden ser observadas directamente en sus primeros grados(formación de razas y de cualquier especie nueva); por ello la existencia de transformaciones evolutivas debe deducirse racionalmente de una numerosa serie de indicios. El valor de esta teoría consiste en que pretende explicar el mayor número de casos con el menor número de hipótesis suplementarias. A favor de la evolución están, en efecto, los indicios tomados de la paleontología, de la anatomía comparada, de la sistemática, de la embriología y más recientemente de la genética.

La paleontología revela en la serie de fósiles no solo una sucesión de formas progresivas de organización, sino también algunos raros casos de transiciones graduales(que adquieren un significado especial cuando se considera la relativa escasez de los hallazgos). Así pues, la evolución de los équidos puede ser seguida a través de la evolución de los primitivos ungulados, con pies de cinco dedos (*phenacodus*), a lo largo de un periodo de más de 60 millones de años que cubre toda la era Cenozoica y que enlaza, por medio de numerosas formas de tránsito, el pequeño *Eohippus* del Eoceno(que tenia los pies anteriores con cuatro dedos y los posteriores con tres) con el actual *Equus*(caballo, asno, cebra), de grandes dimensiones, cuyos pies tienen un único dedo medio (casco) y supervivencias atrofiadas de los dedos laterales. La presencia de órganos de supervivencia, inservibles, se interpreta como una argumento más a favor del transformismo. La anatomía y morfología comparadas ponen de manifiesto las semejanzas de estructura fundamenta, indicios de una probable unidad de origen(homología), entre órganos correspondientes que incluso pueden presentara aspecto y forma distintos porque tiene diferentes funciones. Así, para moverse, los vertebrados poseen cuatro miembros, pero su forma es diversa, según se utilice

³¹ Vid. *Infra. Sec. 4.2.2 LAMARKISMO y 4.4 JEAN BAPTISTE LAMARK*

para andar, agarrar, nadar o volar: es fácil reconocer entonces que el pie (mejor si es de cinco dedos) de un cuadrúpedo, la mano del mono, el ala del murciélago y la aleta de la foca y de la ballena están formados, entre los mamíferos, según un mismo modelo. En estrecha conexión con la morfología y con la anatomía comparadas, y basadas en ellas, se halla, la Sistemática, ciencia que elabora los sistemas de clasificación de los seres vivientes; la sistemática revela que todas las especies de animales y de plantas se pueden ordenar en grupos cada vez más comprensivos (llamados géneros, familias, órdenes, clases, tipos) según semejanzas decrecientes y diferencias crecientes. Esta ordenación en grupos sugiere la hipótesis de que las especies pertenecientes a un mismo género, los géneros pertenecientes a una misma familia y las familias del mismo orden, deriven de progenitores comunes. Finalmente, otro argumento, en realidad más aparente que real, se basa en el hecho de que los embriones de las especies consideradas como más elevadas atraviesan, durante su desarrollo, estados transitorios similares a los estados definitivos de las especies menos elevadas: por ejemplo, en el embrión de las aves y en el embrión de los mamíferos se forman transitoriamente arcos branquiales similares a los de los peces. De aquí la idea, elevada por Hensel Haeckel a la categoría de Ley Biogenética, de que las ontogénesis, o sea el desarrollo del individuo, es decir, de la evolución de la especie.

4.2.1 Evolucionismo

El evolucionismo es la teoría que sostiene que los objetos del universo han sufrido, en el curso de los tiempos, transformaciones debido a un natural proceso de desarrollo que gradualmente los ha conducido desde un estado primitivo, homogéneo e indiferenciado a estados cada vez más complejos y diferenciados. En sentido amplio, el evolucionismo se refiere tanto a los objetos del mundo físico como a los objetos del mundo biológico: se habla de una evolución de los astros (formaciones de estrellas, planetas y satélites provenientes de primitivas nebulosas gaseosas), y se habla también de una evolución de la materia a partir de los corpúsculos sub-atómicos (protones, electrones, neutrones, etc.) que prosigue con la formación de átomos y moléculas de elementos químicos y compuestos cada vez más complejos. Pero en un sentido más restringido y corriente el evolucionismo se entiende como una teoría que afecta a los seres vivientes. Dicha teoría sostiene que las especies actuales animales y de plantas proceden de la transformación y diferenciación, en el curso de las generaciones, de los caracteres de especies pre-existentes; este proceso se dirige en su conjunto, salvo excepciones marginales, hacia la formación de estructuras y funciones cada vez más elevadas y distintas, de modo que de una o pocas especies originarias se han ido desarrollando una multitud de especies de organización siempre más alta y especializada.

Si se excluyen las primeras manifestaciones evolucionistas, puramente filosóficas, contenidas únicamente en las manifestaciones de algunos filósofos griegos (Anaximandro, Heráclito, Empédocles), y las alusiones teológicas contenidas en las obras de algunos padres de la Iglesia (San Agustín, San Gregorio de Nicea), se puede decir que

es necesario llegar al siglo XVIII, o sea a los tiempos de la formación de las ciencias naturales en sentido moderno, para encontrar los primeros fundamentos de una clara teoría de la evolución basada en observaciones científicas. Contribuyeron a favorecer el punto de vista evolucionista los nuevos conocimientos de geología histórica, paleontología, anatomía comparada, sistemática y embriología, que al evolucionismo se adhirieron luego, de forma mas o menos clara. Toda una serie de ciencias naturalistas.

4.2.2 Lamarkismo

El evolucionismo fue, en un principio bien acogido por la mayoría de los naturalistas (pero bastante combatido en el campo filosófico), si bien encontró muchas dificultades al tratar de explicar las causas, modos y amplitud de dicha teoría. Según el Lamarkismo, basado en la hipótesis formulada por Lamark en la obra *Philosophie Zoologique* (1809), las causas de las transformaciones son dos: un íntimo impulso hacia el progreso, innato en todos los seres vivos y destinado a elevar de generación en generación su organización, y una acción del ambiente exterior que estorba continuamente la marcha de la naturaleza hacia la perfección, y provoca o bien la aparición, el desarrollo o modificaciones de ciertos órganos, o bien su retroceso, atrofia o desaparición; estos cambios dependerán de la variación de las necesidades y del uso o no de esos órganos en relación con la variación de las circunstancias de la vida. Así, por ejemplo, los topos se derivan de ciertos insectívoros que adquirieron en hábito de excavar guaridas subterráneas sirviéndose de las patas, que se convirtieron en excavadoras, al vivir en oscuras madrigueras ya no necesitaron los ojos, y por ello se les atrofiaron.

Combatida por Cuvier principalmente, la hipótesis de Lamark no tuvo fortuna en su tiempo. Pero más tarde fue de nuevo adoptada por Herbert Spencer, Theodor Eimer, Edwar Cope y otros, que la modificaron creando el Neolamarkismo, que eliminaba el hipotético Impulso hacia el progreso y acentuaba la acción transformadora del ambiente. Pero los intentos efectuados para demostrar experimentalmente la herencia de los caracteres somáticos adquiridos por estímulos ambientales, clave de la teoría, fallaron e incluso se volvieron a favor de la tesis opuesta, formulada mientras tanto por Darwin. Al Lamarkismo se le acercan ahora la teoría del ruso T. D. Lysenko, pero las pruebas experimentales adoptadas y el encuadramiento polémico de las argumentaciones han suscitado desfavorables acciones en la mayoría de los ambientes científicos.

4.2.3 El Darwinismo

Charles Darwin enunció primero su hipótesis en una memoria académica, junto con un escrito de Alfred Russell Wallace, quien había llegado (1858) independientemente a la misma idea; después la presentó más ampliamente en su libro *Sobre el Origen de la Especies* (1859). El darwinismo original no rechaza el principio lamarkiano de

la acción del ambiente y del uso y no uso de los órganos, pero le atribuye una importancia secundaria. Factor decisivo de las transformaciones es, para Darwin, la selección natural, es decir, la criba que ejerce el ambiente entre los individuos de una población. Esta selección favorece la supervivencia y, pro consiguiente, la descendencia de los individuos más aptos para vencer en la lucha de la existencia, porque están casualmente dotados de pequeñas, pero ventajosas, variaciones de caracteres congénitos y, por lo tanto, hereditarios; en cambio, son eliminados los portadores de caracteres inútiles o dañosos. Por el mismo mecanismo los caracteres ventajosos se acentúan en el curso de las generaciones hasta conducir a la formación de nuevas especies. La selección natural está acompañada además por la selección sexual, que favorece el acoplamiento y, por consiguiente, la fecundidad de los individuos mejor dotados.

Rápidamente aceptada en el campo de los naturalistas por el rigor de las argumentaciones y por la abundancia de los hechos aducidos en su apoyo, de la hipótesis de Darwin no salió en cambio muy beneficiada al pretender aplicarla a otros campos y servir de base a presuntas y arbitrarias divagaciones filosóficas a favor de ciertas corrientes positivas y antirreligiosas que originaron largas polémicas; tampoco le favorecieron los extremismos de sus más apasionadas seguidores como Hernt Haeckel, Tomas Huxley y August Weissman: este último está considerado como el fundador del neodarwinismo y de la teoría cromosómica hereditaria, que sostiene que la neta separación entre línea germinal y línea somática. Muy pronto se levantaron contra la hipótesis darwinista (como ya había sucedido con el Lamarkismo) algunas severas críticas, como su incapacidad para explicar la selección de las variaciones demasiado pequeñas graduales; la tendencia de las especies dotadas de la variabilidad fluctuante a conservar en la descendencia el tipo medio en lugar de los tipos desvientes; la acentuación, en ciertos casos, de algunos caracteres que tienen menos ventajas que inconvenientes (por ejemplo, los cueros ramificados y embarazosos de los ciervos), etc.

4.2.4 Mutación, Teoría Sintética y Adaptación

El desarrollo de la genética contribuyó a la formación de una nueva hipótesis presentada por el botánico holandés Hugo de Vries en la obra "*La teoría de la mutación*" (1901). Como es bien sabido, en el núcleo de las células de los seres vivos existe una especie de segmentos filamentosos llamados cromosomas que a su vez contienen los genes; estos elementos son los encargados de portar, transmitir y controlar los caracteres hereditarios. Los genes se transmiten generaciones y generaciones sin cambio alguno, pero a veces sufren cambios bruscos llamados mutaciones, rápidas y con frecuencia vistosas variaciones de caracteres hereditarios (pues están provocados por alteraciones en el patrimonio genético) que aparece esporádicamente entre los componentes de una especie (plantas con hojas recortadas en lugar de enteras, o con flores de forma o color inusitados; animales con pelo rizado en vez de liso o de color distinto, etc.) y que por su entidad pueden

dar consistencia al mecanismo de la selección darwinista. Pero tampoco esta hipótesis, en su formulación original, ha escapado a las críticas, que se fundan en la rareza de las mutaciones naturales (mucho más numerosas son, en cambio, las artificiales, producidas por estímulos físicos y químicos): su pequeña amplitud sistemática, que no supera el nivel de raza y especie, y la frecuente menor vitalidad de los individuos mutados respecto a los normales.

De la valoración de los aciertos y fracasos de las teorías anteriores, y con las modernas aportaciones de la biología experimental, nació, hacia 1930, la Teoría Sintética, en la que han cooperado varios científicos, sobre todo géticos (C. G. Simpson, Theodosius Dobzhansky, Ronald Fisher, Julian Huxley, John Bourdon Haldane, Bernhard Rebsch y otros). Dicha teoría trata de superar las disensiones con nuevos planteamientos, sosteniendo, entre otras cosas, que los caracteres como tales no son hereditarios (sean adquiridos o no), sino que son los modos de reaccionar de los organismos a la acción del ambiente durante el desarrollo (norma de reacción), y que el efecto de estas reacciones puede forjarse en el patrimonio hereditario (asimilación genética): por ejemplo, en el jabalí africano, ante su costumbre de arrodillarse para comer, el organismo reacciona con la formación de una callosidad en los tobillos, y esta reacción se ha fijado en el patrimonio genético, pues los recién nacidos tienen ya un pequeño callo. El fenómeno de la adaptación, o sea de la constante correlación morfofisiológica de cada especie con el ambiente en que vive, se presta bien a ilustrar las diferencias entre las diversas hipótesis evolucionistas. Para el lamarkismo, la adaptación es efecto directo de las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de los órganos que más se usan y la reducción de aquellos no usados, son transmisión hereditaria de los resultados obtenidos en cada una de las generaciones, y, por lo tanto, con su acentuación de la generación siguiente; para el darwinismo, en cambio, la adaptación es efecto de la selección natural a favor de pequeñas y congénitas (y, por lo tanto, hereditarias) variaciones útiles, que de este modo se acentúan en la descendencia, para el mutacionismo la adaptación es consecuencia de la preadaptación de una fortuita mutación ventajosa, que por esto se ve favorecida y puede acentuarse en el curso de las generaciones con mutaciones adicionales. Por lo que para la teoría sintética, la adaptación es consecuencia de la asimilación genética o, más general, es el resultado de la reacción de fuerzas múltiples, de las que la selección natural es solamente una entre muchas. A la adaptación, los seguidores de la teoría sintética atribuyen, además, el valor de factor que determina la orientación de las tendencias evolutivas (adaptación orientadas).

4.2.5 Aportación de la Genética

La teoría sintética se ha servido y se sirve de las aportaciones de la genética, que ha permitido transferir al plano experimental investigaciones y estudios hasta ahora abordados tan sólo con el razonamiento. La experimentación está limitada al ámbito directamente observables por el hombre, es decir, al problema de la formación de nuevas

razas y de nuevas especies (especiación), que puede realizarse gracias a mecanismos capaces de provocar el aislamiento reproductivo, o sea la imposibilidad de cruce fecundo, límite generalmente admitido para la distinción entre especies. Tales mecanismos son la mutación, la hibridación y, sobre todo, la localización y el aislamiento geográfico o ambiental de las poblaciones en un principio unitarias y sometidas, por la selección de ciertos caracteres, a adaptaciones diversas y divergentes hasta el grado de la especie (especiación geográfica). De este modo se puede explicar, y en parte controlar experimentalmente, los fenómenos de la microevolución, es decir, las transformaciones, relativamente leves, concernientes a los primeros escalones sistemáticos, o sea la raza y la especie. Para la macroevolución, es decir, para la transformaciones de mayor relieve, como son las acaecidas en la historia geológica, se ha pensado en la posibilidad de mutaciones sistemáticas, especie de catástrofes y reajustes del patrimonio hereditario, explicación de la que han dudado muchos científicos. Queda además, como problemática la causa de la dirección prevalentemente ascendente de la evolución. Del mismo modo que todavía son inciertas y problemáticas las causas de la evolución, también lo son la extensión y la forma de las hipotéticas derivaciones de los diversos grupos sistemáticos, que precederían unos de otros. Actualmente se actúa con mayor prudencia que antes al intentar reconstruir el árbol genealógico de los grupos sistemáticos; estas reconstrucciones se basan en criterios paleontológicos, sistemáticos, anatómicos y, hoy incluso genéticos.

4.2.6 Evolución y Creación

Algunos evolucionistas del siglo pasado salieron de su campo estrictamente científico para intentar sacar consecuencias de orden filosófico y religiosos, contrarias a las doctrinas de la creación, y planteando una supuesta incompatibilidad entre ciencia y fe. Estos ataques provocados entonces, entre los creyentes, una lógica reacción frente a las teorías evolucionistas. Pero hoy, la pretendida oposición entre ciencia y fe se considera un tema ya superado. La Iglesia rechaza, en cambio las teorías, tanto si son evolucionistas como si no lo son, de carácter materialistas y que niegan el hecho de la creación o lo interpretan en sentido panteísta, pues son contrarias a la fe en la Revelación. Aunque son muchas las teorías científicas que operan bajo el supuesto (principio de toda ciencia cierta) de que lo que existe ha sido creado. El relato bíblico de la creación contiene, entre otras verdades reveladas, que todo lo que existe ha sido creado por un Dios único, que las cosas no son dioses (frente a las cosmogonías politeístas de los pueblos) y que las criaturas se distinguen de su creador (frente al panteísmo); también enseña que en la creación del hombre hubo una especial intervención divina. Pero ciertos detalles acerca del modo en que se realizó la creación pueden ser fruto, según algunos exegetas, de la peculiar visión científico-popular del mundo que tenían los antiguos hebreos y sus vecinos. Se ha hecho notar, por ejemplo, que los detalles sobre la creación del hombre son distintos de los principales relatos que sobre este acontecimiento nos ofrece la Biblia.

Las ciencias naturales no tienen por misión aclarar los detalles de cómo tuvo lugar la creación: estudian la realidad existente, materialmente experimentable, es decir, ya creada, pero, en principio, pueden también preguntarse por el origen de los objetos de investigación, y de hecho proporcionar algunas hipótesis acerca del orden de aparición de los distintos seres. Pero cualquier intento de explicar *el como* de una creación de tipo evolutivo debe considerarse por ahora puramente hipotético, como corresponde la estado problemático de muchas cuestiones que a la evolución afectan. Lo anterior se piense acerca de la amplitud de la evolución determinan las diferencias observables entre las varias opciones evolucionistas sobre la creación. Una hipótesis evolutiva integral imaginaría, por ejemplo, que hubo una sola creación inicial que produciría un algo indiferenciado, provisto de la capacidad de desarrollarse a lo largo del tiempo bajo la acción del concurso divino. Las hipótesis menos radicalmente amplias se inclinarían a sostener que fueron creados, además, los representantes iniciales de ciertos escalones sistemáticos, como los géneros, o bien las familias, o los órdenes, etc. En resumen la evolución es contraria a la idea de que todas y cada una de las especies fueron creadas por un especial acto creador de Dios (Fijismo). La evolución propone o una reacción inicial única o la creación escalonada de varios grados sistemáticos, en cualquier caso se admite que todo lo existente es creado directa o indirectamente (refiriéndose naturalmente a las hipótesis no materialistas). Según las hipótesis evolucionistas, el hombre, en su vertiente corporal, podría ser el resultado de la evolución de un primate (que no sería un mono en el sentido actual, sino un antecesor común de ciertos monos superiores y el hombre) a quien en un determinado estadio de su desarrollo Dios habría dado gratuitamente el espíritu, dotándole así de un destino sobrenatural y, por lo tanto, de personalidad, es decir, de libertad y responsabilidad en orden a un fin último. El origen de lo que en el hombre hay de espiritual no es, lógicamente, objeto propio de las ciencias naturales, ni siquiera en hipótesis. Finalmente, respecto al origen de ese hombre, el cristianismo debe admitir el monogenismo (por su conexión con la doctrina del pecado original), todos los hombres actuales descienden de una sola pareja humana.

4.3 Mendel Gregor

Naturalista austriaco, nació en el año de 1822 en la ciudad de Heinzendorf, Silesia y murió en el año de 1884. fue abad de los agustinos y después de ordenarse sacerdote y cambiar su nombre originario de Johan por Gregor, en 1851 se traslado a la Universidad de Viena, donde durante tres años estudio Física, Matemáticas y Ciencias Naturales. Dio clases de Física y Ciencias Naturales en el Colegio Real de Brünn, dedicándose entre los años de 1857 y 1864 a experimentos de hibridación de vegetales (guisantes y judías), que le permitieron formular en 1865 las famosas tres leyes sobre los caracteres hereditarios en los híbridos. Estas leyes fueron “redescubiertas” en 1900 por Karl Correns, Hugo de Vries y Erich Tschermak, independientemente unos de otros. Los trabajos de Mendel fueron publicados de nuevo, comentados y revalorizados, siendo considerado desde entonces como el

fundador de la Genética Moderna. Así, se llama Mendelismo a la teoría sobre la herencia de los caracteres. El cruce de dos individuos puros, animales o vegetales, que se diferencian entre sí por una sola pareja de caracteres, llamados caracteres alelomorfos o antagónicos (por ejemplo, guisantes de semilla rugosa y guisantes lisos), resulta en la primera generación, híbridos todos iguales entre sí (primera ley, o ley de uniformidad de la primera generación): si los dos caracteres son equipotenciales³², los hijos son híbridos intermedios, es decir, su fenotipo es la mezcla de los fenotipos paternos; si los dos tienen distinta fuerza, los hijos son híbridos unilaterales, presentado el fenómeno del progenitor dotado del factor más potente, que se llama dominante, mientras el carácter antagónico, llamado recesivo, no se manifiesta. Del cruce de dos híbridos se obtienen en la segunda generación, un 25% de individuos iguales a uno de los progenitores puros, un 25% con el carácter del otro progenitor puro y un 50 % de individuos iguales a los híbridos de la primera generación y apenas diferenciables externamente(excepto en el caso de la herencia intermedia). Cruzando estos últimos entre sí, se renueva la distribución estadística antes dicha(segunda ley o ley de la segregación de los genes antagónicos). Si se cruzan individuos puros con dos o más parejas de caracteres antagónico (por ejemplo, plantas de guisantes de semillas lisas o rugosas y de cotiledones amarillos o verdes), la herencia de cada pareja de caracteres es independiente de la de las otras, con todas las consiguientes combinaciones en la descendencia(tercera ley, o ley de la independencia).

4.4 Lamarck Jean Baptiste

Naturalista francés, nació en Bazentin Picardía en 1744 y murió en París en 1829. Como botánico, fue colaborador de Bernard Jussieu y en su *Flora Francesa* ideó el sistema de claves dicotómicas, que aplicó a todas las plantas conocidas hasta entonces. En 1729 fue nombrado profesor del Jardín des Plantes de París, donde se ocupó de la zoología, principalmente de los invertebrados, acerca de los cuales escribió su "*Historia Natural de los animales sin vértebras*". En ella estableció una clasificación de los grandes grupos de invertebrados. De sus estudios botánicos y zoológicos, Lamarck dedujo, en contra de las ideas que hasta entonces se aceptaban, que la especie no era inmutable, sino que con el tiempo toda forma viviente, por sencilla que fuere, se desarrollaba a su vez en formas más complejas. Para Lamarck, la evolución de las especies depende de una tendencia interior de los organismos a modificarse en virtud de dos leyes generales: la del uso continuo, y la de herencia de los caracteres adquiridos por influencias ambientales (lamarckismo o transformismo). Estos argumentos los desarrolló ampliamente en su obra "*Filosofía zoológica*" (1809), en la que expuso por primera vez una teoría orgánica sobre el evolucionismo.

³² El término *Equipotencial* se refiere a la similitud en la dominancia de los caracteres.

4.5 Darwin Charles Robert

Naturalista inglés, nació en Schewsbury en 1809 y murió en Down en 1822. Acabados sus estudios en la universidad de Edimburgo y Cambridge, participó en un largo viaje en el que visitó América del Sur y diversas islas del Océano Pacífico y del Índico, recogiendo muchos materiales científicos y escribiendo un diario rico en observaciones, principalmente zoológicas y geológicas, que reprodujo en la relación oficial de una expedición, publicada en 1839 y reimpresa posteriormente con el título de Viajes de un naturalista la rededor del mundo. Estudió los arrecifes, a los que dividió en costeros, barreras y atolones, considerando que se formaban en ese orden. De regreso a Inglaterra, se estableció definitivamente en la ciudad tranquila de Down, en Kent, continuando sus estudios naturalistas, que los llevaron a sustentar la teoría biológica de la evolución natural de los seres vivos, ya planteada cincuenta años antes, aunque con poca fortuna por Jean Baptiste Lamarck, y a formular una nueva interpretación del modo en que se han producido las transformaciones de las especies. A semejanza de cuanto había afirmado Lamarck en su obra "*Philosophie zoologique*" (1809), Darwin, es su célebre libro "*Sobre el Origen de las Especies*", publicado en 1859, sostiene que las distintas formas de animales y vegetales existen hoy sobre la tierra, derivan, por evolución lenta, de unas pocas especies primitivas más simples (lamarkismo) las transformaciones evolutivas y al uso de los órganos útiles y al no uso de los convertidos en inútiles con el cambio de las condiciones exteriores, en la teoría de Darwin (darwinismo) el transformismo se considera fruto de la selección natural que actuaría sobre las especies pequeñas, fortuitas y constitucionales y, por lo tanto hereditarias variaciones de los caracteres, frecuentemente en las poblaciones de una misma especie, de modo que favoreciese la supervivencia de los poseedores de caracteres superiores y, en consecuencia, más fuertes en la lucha por la existencia. Tales caracteres se acentuarían, por el mismo motivo, en las generaciones sucesivas, hasta conducir a una progresiva transformación de las especies y a su constante adaptación a las condiciones ambientales. La teoría de Darwin (abordada al mismo tiempo y de manera independiente por el naturalista Alfred Russell Wallace) estaba abalada por su notable cantidad de observaciones realizadas en los campos de la anatomía comparada, de la embriología y de la paleontología; por otra parte aparecía como bastante más aceptable conceptualmente que la de Lamarck, que se apoyaba en la herencia de caracteres adquiridos por acciones del ambiente, herencia no demostrada, antes bien refutada por las pruebas experimentales. La teoría de Darwin encajaba, en el momento más oportuno, dentro del pensamiento, mientras Lamarck había llegado demasiado pronto, cuando dominaban las visiones estáticas y creacionistas de Carlo Linneo y de George Cuvier. Esto explica la derrota del Lamarkismo y también la indebida y perjudicial extensión del evolucionismo, desde el plano científico y religioso, con la larga y popular polémica sobre si el hombre desciende del mono. Hoy aclarados los términos de la cuestión y corregidos los errores de planteamiento, la teoría de Darwin está universalmente aceptada en el ámbito biológico, pero no en su forma

primitiva, sino con las modificaciones sugeridas por el progreso de los estudios. Además de la ya citada *“Sobre el Origen de las Especies”*, escribió muchas otras obras.

4.6 Herencia

Se denomina Herencia a la transmisión de caracteres de un individuo a las sucesivas generaciones. Los caracteres que distinguen las diferentes especies, y con ellos sus variaciones normales y patológicas, se transmiten por la suma de los patrimonios hereditarios de los progenitores. La transmisión sigue leyes determinadas estudiadas en la Genética. Aún en nuestros días se discute la posibilidad de que algunas informaciones genéticas puedan ser transmitidas por el citoplasma de los gametos. El problema de la herencia está relacionado con el de la conservación de las características específicas del individuo y de la especie. Hoy no se admite la transmisión de caracteres adquiridos, a menos que éstos interesen las células germinales. En el hombre, la herencia es bien conocida en algunos aspectos físicos y psíquicos variables y en cierto número de cuadros patológicos, llamados por ello hereditarios. Se heredaran, por ejemplo, el color de los ojos, de los cabellos, la talla, etc. Debe establecerse una distinción entre enfermedades hereditarias y enfermedades familiares, según que el cuadro patológico se manifieste en los progenitores y en los hijos o sólo en estos últimos, ya que se trata de dos expresiones del mismo fenómeno unidas, respectivamente, a la dominación o recesividad (genética) del carácter degenerativo. Se distinguen una herencia patológica dominante y otra recesiva. Las afecciones que se transmiten por carácter recesivo siguen las leyes de la herencia y pueden permanecer silenciosas durante varias generaciones para reaparecer en el momento de la unión del gen anómalo. Un tipo particular de herencia es la ligada al sexo, en esta los caracteres degenerativos son de tipo recesivo y se hallan ligadas al cromosoma sexual. La disminución de las enfermedades de naturaleza hereditaria es un problema que concierne a la ciencia Eugénica, ciencia que procura, en la herencia dominante, impedir las uniones fecundas de los seres con tachas hereditarias, y, en las afecciones que se transmiten con carácter recesivo, estudiar el árbol genealógico de los progenitores, evitando las uniones consanguíneas. El matrimonio entre consanguíneos sin tachas hereditarias no ofrece, por sí, ningún peligro.

4.7 Mutación

Es la variación hereditaria de una especie consistente en un cambio de estructura genética que repercute en una alteración brusca de los caracteres del organismo y deriva de la multiplicación de la célula cambiante. Si la mutación se origina en las células somáticas, la repercusión en los caracteres de la descendencia sólo se da en el

caso de la multiplicación agamética³³ (multiplicación vegetativa de las plantas y reproducción agamética en los animales); por el contrario, si la mutación se verifica en los gametos, es decir, en las células germinales, actúa sobre los correspondientes caracteres de la prole que de ella deriva, por lo que, dada la generalidad de la reproducción sexual, este último caso es más difundido. Se pueden distinguir tres clases de mutación:

- a. Genómica
- b. Cromosómica
- c. Génica

La primera consiste en cambios del número de los cromosomas, bien sea por multiplicación de todo conjunto cromosómico o por multiplicación de cada uno de aquellos, internamente, esta mutación suele manifestarse por el aumento hereditario de la masa corpórea del organismo (gigantesco) o por anomalía del desarrollo. La mutación de tipo cromosómica afecta a la estructura de los cromosomas (por ejemplo, cambio o desplazamiento de un segmento de un cromosoma a otro, duplicidad, etc.), y repercute en todos los caracteres dependientes de los genes contenidos en el segmento de cromosoma cambiado. La mutación génica concierne a un solo gen y actúa, por lo tanto, sobre el carácter hereditario que depende de este. Externamente, las mutaciones se manifiestan por un cambio brusco y a veces vistoso de uno o varios caracteres en la descendencia del individuo cambiante, es decir, hereditaria e independencia de las acciones somáticas externas. Tales son, por ejemplo, las variaciones del pelo de ciertos mamíferos, o del plumaje de algunas aves, seleccionados depuse por los ganaderos con fines comerciales. En plantas, la desaparición imprevista de flores, hojas y frutos, utilizados muchas veces con fines industriales. Debido a que tales variaciones son hereditarias y dan origen a nuevos retoños, algo distintos del original, el botánico holandés Higo de Vries enunció el principio de que las nuevas especies se forman por mutación, aportando con el, la nueva hipótesis acerca de la Teoría del Evolucionismo. La unión entre la variación de los caracteres externamente visibles, así como la alteración de los genes y de los cromosomas, fue descrita por el biólogo Thomas Hunt Morgan (1886-1945) mediante los experimentos realizados sobre las mutaciones de la mosca del vinagre.

La estabilidad de las mutaciones no es constante, ya que algunas, después de muchas generaciones, se invierten volviendo a la situación primitiva. Además, en cuanto a las desviaciones del organismo la mayoría de las mutaciones, y en especial las que más se desvían, son biológicamente nocivas, menos vitales que la forma típica y a veces carecen de utilidad. Las mutaciones se orientan casualmente en varias direcciones y la selección natural actúa siempre favoreciendo las más útiles. La escasa frecuencia de las mutaciones se puede aumentar mediante la acción de los agentes ionizantes (rayos X, gamma, etc.).

³³ *Agamética* significa reproducción mediante un solo gameto

También en ocasiones, aunque son poco frecuentes, se producen mutaciones espontáneas. Su rareza dificulta grandemente la observación y su frecuencia varia según la mayor o menor mutabilidad de la especie: por ejemplo, en la mosca del vinagre, por término medio sólo un individuo entre 100 000 presenta la mutación de un gen. Dos de los casos de esta mutación en el hombre son la hemofilia y el albinismo, este último en la proporción de un gen entre mil. Se desconocen la causa de ella, aunque se ha demostrado que su frecuencia aumenta con la temperatura, lo que favorece la teoría de que las mutaciones espontáneas son resultado de vibraciones moleculares estadísticamente arbitrarias. Una hipótesis que intenta explicar esta clase de mutación es la de que constituyen un error cometido al duplicarse el gen.

4.8 Algoritmo

Término con el que hoy se indica cualquier procedimiento sistemático de cálculo con el que se halla el resultado deseado mediante una sucesión de operaciones realizables según reglas precisas. En un principio, o sea en la Edad Media, el término algoritmo significó tan sólo la ejecución de las “cuatro operaciones” mediante cifras árabes y las reglas de cálculo conocidas con el sistema de numeración decimal posicional; los seguidores del nuevo método fueron llamados “algoritmistas” en contraposición, con los “abaquistas”, que siguieron calculando con el ábaco. Los algoritmistas seguían las reglas expuestas en un libro del matemático árabe Mohamed ibn Musa al Khuwarizma, que trabajó en Bagdad alrededor del año 830 de nuestra era; este libro se conocía en la Edad Media como el “*Liber Algorismi*”, y de aquí el término “algoritmo”, deformación del nombre del autor (al Khuwarizma).

4.9 Algoritmos Genéticos

John Holland al observar la evolución natural de los seres vivos desarrollo lo que se conoce como Algoritmos Genéticos. El problema a que se enfrentan cada día los organismos es la supervivencia, por lo que la naturaleza les ha dotado con habilidades innatas contenidas en su material genético. A nivel genético, el problema consiste en seleccionar las adaptaciones óptimas para enfrentar un medio hostil y cambiante. En parte, mediante la selección natural y evolución, cada organismo obtiene un cierto nivel de “información o conocimiento” incorporado a los cromosomas, siendo codificada dicha información. Por lo que finalmente, la evolución se realiza en los cromosomas. De una generación a otra la información almacenada en los cromosomas sufre variaciones. Al combinarse individuos para formar un individuo nuevo, la información cromosómica de los progenitores se combina. Los Algoritmos Genéticos consideran que:

- La evolución opera en los cromosomas en lugar de en los individuos a los que representan.
- La selección natural es el proceso por el que los cromosomas con "buenas estructuras" se reproducen más a menudo que los demás.
- En el proceso de reproducción tiene lugar la evolución mediante la combinación de los cromosomas de los progenitores. Llamamos Recombinación a este proceso en el que se forma el cromosoma del descendiente. También se debe tener en cuenta las mutaciones que pueden alterar dichos códigos.
- La evolución biológica no tiene memoria en el sentido de que en la formación de los cromosomas únicamente considera la información de la generación anterior.
- Mediante los Algoritmos Genéticos se pueden encontrar soluciones aproximadas a problemas de gran complejidad.

4.9.1 Metodología de Algoritmos Genéticos

Para los Algoritmos Genéticos la *Población Inicial* de individuos es análoga al conjunto de soluciones de un problema, cada una de estas posibles soluciones se codifica en una cadena de código binario que es equivalente a los *Cromosomas*. Para poder encontrar la solución más aproximada a la óptima, se utiliza una *Función de Evaluación* ("Fitness") basada en la función objetivo del problema. Así mismo, se utiliza un mecanismo de selección que escoge los cromosomas con mejor evaluación para que se reproduzcan con mayor frecuencia. Las representaciones simples binarias (0,1) o cadenas (*strings*) del conjunto de soluciones del problema se van transformando a través del proceso para mejorar estas posibles soluciones. Para poder realizar lo anterior es necesario especificar los siguientes operadores genéticos³⁴:

- Población Inicial: es la representación cromosómica
- Evaluación: una medida de evaluación
- Seleccionar: un criterio de selección o eliminación de cromosomas
- Cruzamiento: Una o varias operaciones de recombinación
- Mutación: una o varias opciones de mutación

Los algoritmos genéticos son métodos de optimización, que resuelven el problema de hallar (x_1, \dots, x_n) tales que $F(x_1, \dots, x_n)$ sea máximo, después de parametrizar el problema en una serie de variables, (x_1, \dots, x_n) se codifican en un cromosoma. Todos los operadores utilizados por un algoritmo genético se aplican sobre estos cromosomas, o sobre poblaciones de ellos. En el algoritmo genético va implícito el método para resolver el problema. Hay que

³⁴ Vid. *Infra. Sec. 4.9.6 OPERADORES GENÉTICOS*

tener en cuenta que un algoritmo genético es independiente del problema, lo cual lo hace un algoritmo *robusto*, por ser útil para cualquier problema, pero a la vez *débil*, pues no está especializado en ninguno. Las soluciones codificadas en un cromosoma *compiten* para ver cuál constituye la mejor aproximación a la solución óptima. El *ambiente*, ejercerá una presión selectiva sobre la población, para que sólo los mejor adaptados (aquellos que resuelvan mejor el problema) sobrevivan y tengan la posibilidad de transmitir sus genes a la siguientes generaciones. Para que exista diversidad genética se aplica la mutación y la reproducción sexual. La Naturaleza optimiza la supervivencia, por lo que se maximizan diversos factores y se minimizan otros. En el caso de Algoritmos Genéticos, se utiliza generalmente sólo una función para optimizar.

4.9.2 Codificación de Variables y Población Inicial

Se requiere que el *Conjunto Inicial o Población Inicial* de posibles soluciones sea codificado. Cada cromosoma posee varios genes, siendo los genes la representación de parámetros del problema. Estos genes se codifican en cadenas binarias (0,1). Un bit se define como cada posición en donde se puede colocar un 0 o 1. El número de bit que se utiliza para cada parámetro depende de la precisión que se desee o del número de opciones posibles que tenga el parámetro. Generalmente una codificación adecuada dará como resultado una muy buena solución, para esto se recomienda que los parámetros relacionados entre sí se coloquen juntos. Normalmente la codificación es estática, pero algunas veces se pueden variar el número de bits dedicados a codificar un parámetro.

4.9.3 Evaluación y Selección (Fitness)

Para iniciar la competición entre los diferentes cromosomas se evalúa cada uno de ellos mediante una función evaluadora. Durante la evaluación, se decodifica el gen, convirtiéndose en una serie de parámetros de un problema, se halla la solución del problema a partir de esos parámetros, y se le da una puntuación a esa solución en función de lo cerca que esté de la mejor solución. A esta puntuación se le llama *fitness*. Esta Función Evaluadora (*fitness*) determina los cromosomas se reproducirán y los que serán eliminados. Después de evaluar y seleccionar los genes, se debe crear la nueva población o generación, teniendo en cuenta que los mejores genes se transmitirán a esta nueva generación. Para esto, se utilizaran una serie de individuos que contengan estos genes, que serán los que se reproducirán. Dicha selección y reproducción se puede realizar de las dos formas siguientes:

- **Mediante Rango:** se mantiene un porcentaje de la población para la siguiente generación. Ordenándose toda la población de acuerdo a su calificación obtenida en la función evaluadora, posteriormente se eliminan los menos cualificados. La nueva generación sustituye a la anterior y estará conformada por descendientes del cruce de algunos de los *m* mejores individuos.

- **Mediante Aleatoriedad:** se crea una base de cromosomas de la generación actual en cantidad proporcional a su evaluación. Si la proporción hace que un individuo domine la población, se aplica una operación de escalado. Se seleccionan parejas aleatorias de cromosomas y cruzan (no importando que sean del mismo progenitor). Otro procedimiento es el incluir en la nueva generación el mejor representante de la generación actual (método elitista)
- **Mediante Torneo:** se selecciona un determinado número de cromosomas, y se reproduce el que posea la mayor puntuación dentro de este grupo y este último sustituirá al cromosoma que tenga menor puntuación

4.9.4 Cruzamiento o Recombinación (Crossover)

Después de evaluar los diversos cromosomas y seleccionar los más aptos, se procede a cruzar a los individuos con mejor material genético. El cruzamiento (crossover) consiste en el intercambio de material genético entre dos cromosomas (algunas veces mas de dos cromosomas). Este operador genético se puede considerar como el principal, ya que sin este operador no existe Algoritmo Genético (pudiendo serlo aun sin poseer mutación). El cruzamiento se utiliza para hallar la mejor solución al problema, combinando soluciones parciales. Para aplicar el cruzamiento se escogen de forma aleatoria dos miembro de la población que hayan sido seleccionados para el cruzamiento, no importa si son de los mismo padres, pero no se recomienda esto último, ya que las futuras generaciones tendrán predominancias del mismo cromosomas (incluyendo los genes no deseados). Mediante el cruzamiento se combinan los genes más óptimos y darán una buena puntuación a la siguiente generación en la función de evaluación. Esta presión selectiva obtiene las soluciones más óptimas en cada generación, y la solución óptima de la descendencia es mejor que la solución optima de la generación progenitora. El cruzamiento se puede realizar de las siguientes formas principalmente:

- *Crossover n-puntos:* los dos cromosomas se cortan por n puntos, y el material genético situado entre ellos se intercambia. Lo más habitual es un crossover de un punto o de dos puntos.
- *Crossover uniforme:* se genera un patrón aleatorio de 1s y 0s, y se intercambian los bits de los dos cromosomas que coincidan donde hay un 1 en el patrón. O bien se genera un número aleatorio para cada bit, y si supera una determinada probabilidad se intercambia ese bit entre los dos cromosomas.
- *Crossover especializados:* en algunos problemas, aplicar aleatoriamente el crossover da lugar a cromosomas que codifican soluciones inválidas; en este caso hay que aplicar el crossover de forma que genere siempre soluciones válidas.

4.9.5 Mutación

En la evolución natural la mutación sucede una vez cada mil replicaciones. En la mayoría de las ocasiones las mutaciones son letales para el individuo, pero en promedio, contribuye a la diversidad genética de la especie. En un algoritmo genético la mutación tendrá la misma función que en la naturaleza, y se recomienda que tenga la misma frecuencia. Generalmente la mutación se realiza simultáneamente al cruzamiento. Para realizar la mutación, se examina cada bit de cadena cuando se vaya a crear un nuevo individuo a partir de sus progenitores, si el número generado aleatoriamente está por debajo de esa probabilidad, se cambiará el bit (de 0 a 1 ó de 1 a 0), en caso contrario no se muta el bit. Se recomienda no abusar de la mutación debido a que reduce el algoritmo genético a una búsqueda aleatoria, esto a pesar de que la mutación genere diversidad cuándo el algoritmo genético está estancado. Es conveniente utilizar otros mecanismos para generar diversidad, como incrementar el tamaño de la población.

4.9.6 Otros Operadores

Existen operadores genéticos que sólo se utilizan en algunos problemas, generalmente son operadores que exploran el espacio de soluciones de una forma más ordenada y actúan en las últimas etapas de la búsqueda, en las que se pasa de “*soluciones casi buenas*” a “*soluciones buenas*” Algunos de estos operadores son:

- **Cromosomas de Longitud Variable:** en estos casos, necesitamos dos operadores más: *añadir* y *eliminar*. Estos operadores se utilizan para añadir un gen, o eliminar un gen del cromosoma. La forma más habitual de añadir un gen es *duplicar* uno ya existente, el cual sufre mutación y se añade al lado del anterior. En este caso, los operadores del algoritmo genético simple (selección, mutación, crossover) funcionarán de la forma habitual, salvo, claro está, que sólo se hará crossover en la zona del cromosoma de menor longitud. Estos operadores permiten, además, crear un *algoritmo genético de dos niveles*: a nivel de cromosoma y a nivel de gen.
- **Operadores naturales:** estos operadores están encaminados a mantener la diversidad genética de la población, de forma que cromosomas similares sustituyan sólo a cromosomas similares, y son especialmente útiles en problemas con muchas soluciones; un algoritmo genético con estos operadores es capaz de hallar todos los máximos, dedicándose cada especie a un máximo. Más que operadores genéticos, son formas de enfocar la selección y la evaluación de la población
- **Operadores especializados:** en una serie de problemas hay que restringir las nuevas soluciones generadas por los operadores genéticos, pues no todas las soluciones generadas van a ser

válidas, sobre todo en los problemas con restricciones. Por ello, se aplican operadores que mantengan la estructura del problema. Otros operadores son simplemente

4.9.7 Aplicación de Operadores Genéticos

En toda ejecución de un algoritmo genético hay que decidir con qué frecuencia se va a aplicar cada uno de los operadores genéticos; en algunos casos, como en la mutación o el crossover uniforme, se debe de añadir algún parámetro adicional, que indique con qué frecuencia se va a aplicar dentro de cada gen del cromosoma. La frecuencia de aplicación de cada operador estará en función del problema; teniendo en cuenta los efectos de cada operador, tendrá que aplicarse con cierta frecuencia o no. Generalmente, la mutación y otros operadores que generen diversidad se suele aplicar con poca frecuencia; la recombinación se suele aplicar con frecuencia alta. En general, la frecuencia de los operadores no varía durante la ejecución del algoritmo, pero hay que tener en cuenta que cada operador es más efectivo en un momento de la ejecución.

4.9.8 Formación del Agente de Exploración

El Agente de Exploración es un individuo representado en forma de cadena, compuesto por elementos que son variables que se utilizarán durante el proceso del algoritmo genético. Se representa por medio de la ecuación 4.1.

$$\text{Ind} (*) = [(\text{variable 1})_B | (\text{variable 2})_B | (\text{variable 3})_B] \quad (4.1)$$

En donde B puede tomar el valor de 10 si es en base decimal (Fenotipo) ó el valor de 2 si esta en base binaria (Genotipo), esto depende de la representación de la cadena.

4.9.9 Representación Genotípica Primitiva del Agente de Exploración

Cuando la cadena es genotípica ($B = 2$), dicha cadena esta conformada por bits, existiendo únicamente dos estados posible: 0 y 1. Como se aprecia en la ec. 4.2.

$$[(b_j b_{j-1} \dots b_0) | (b_k b_{k-1} \dots b_0) | (b_m b_{m-1} \dots b_0)] \quad (4.2)$$

La longitud de la cadena genotípica o cadena cromosómica depende de la longitud de la estructura cromosómica de cada uno de sus elementos. A su vez, cada estructura de estos elementos esta en función de:

- La longitud del rango en el que se encuentra el dominio del elemento
- La precisión que es el número de lugares decimales en que se quiere dividir el rango

Sea el elemento $E \in (E_{\text{mix}}, E_{\text{max}})$, entonces, el Dominio D_E de ese rango es:

$$D_E = E_{\text{max}} - E_{\text{min}} \quad (4.3)$$

La precisión depende del número de posiciones después del punto decimal, y se obtiene como sigue:

$$\text{Precisión} = p\text{-esimas; donde : } p = 1 \times 10^{pd} ; pd = 1, \dots R \quad (4.4)$$

En donde R es el número de dígitos decimales después del cero

Esa precisión implica que el rango $[E_{\text{mix}}, E_{\text{max}}]$ debe ser dividido en:

$$n_{\text{div}} = (D_E) (p) \quad (4.5)$$

Lo que implica que la cadena binaria que representa al cromosoma o genotipo debe tener S bits:

$$2^{S-1} < n_{\text{div}} < 2^S \quad (4.6)$$

Así, el cromosoma de ese elemento estará representado por un cadena de la forma:

$$[b_{S-1}, b_{S-2}, \dots, b_0] \quad (4.7)$$

Por lo que S puede tomar cualquier valor j, k, m de la ecuación 4.2 dependiendo del elemento de que se trate.

4.9.10 Transformación de Genotipo a Fenotipo

La transformación del elemento $E \in [E_{\text{min}}, E_{\text{max}}]$ en forma de genotipo a su forma de fenotipo, se efectúa en dos pasos:

Primero: Conversión de la cadena binaria de base 2 a base 10, mediante la siguiente ecuación:

$$([b_{s-1}, b_{s-2}, \dots, b_0])_2 = [\sum_{i=0}^{s-1} b_i 2^i]_{10} = E' \quad (4.8)$$

Segundo: Valor real correspondiente:

$$E = E_{\min} + E' [E_{\max} / (2^s - 1)] \quad (4.9)$$

4.9.11 Representación Genotípica del Agente de Exploración

La presentación final del agente explorador mediante el genotipo se debe introducir la información de rango de análisis del elemento y, además, la precisión. Por lo que se representa finalmente como (N es el número de elementos):

$$[(E_{1\min}, E_{1\max}), pd_{E_1}, (b_{s-1}, b_{s-2}, \dots, b_0) | \dots | (E_{N\min}, E_{N\max}), pd_{E_N}, (b_{s-1}, b_{s-2}, \dots, b_0)]$$

(4.10)

4.9.12 Funciones de Aptitud y Objetivo

La función de aptitud tiene por objetivo calificar a los individuos dentro de un proceso de búsqueda evolutiva, de manera que los individuos mejor calificados sean los más aptos para reproducirse, con lo que transmitirán su buena información genética a futuras generaciones.

4.9.13 Índice de Mutación

El índice de mutación determina como debe mutar un individuo, generalmente se muta un gen (cambiar 1 por 0 ó viceversa de un bit dentro de un gen) tomado aleatoriamente de un individuo que a su vez a sido seleccionado aleatoriamente. Generalmente se toma un índice de mutación de 1 gen mutado cada 1000 genes transferidos de una generación a otra³⁵.

³⁵ Cfr. GOLDBERG D. E., *Genetic Algorithms in Search, optimization, and Machine Learning*, Editorial Addison-Wesley Publishing company, 1989.

Conclusiones

PRIMERA. Cada algoritmo genético que se diseñe generalmente es único, pero posee características comunes, que son conocidas como operadores genéticos: población inicial, evaluación, selección, cruzamiento y mutación.

SEGUNDA. Los científicos basan los procedimientos de algoritmos genéticos en el comportamiento de los seres vivos para poder solucionar problemas de la mejor forma posible y de manera rápida.

CAPÍTULO 5

ALGORITMO GENÉTICO PARA OBTENER UN PORTAFOLIO DE INVERSIÓN ÓPTIMO

Introducción

En este capítulo se presentan los fundamentos matemáticos que se utilizan en el algoritmo genético, dichos fundamentos se basan en la Teoría de Portafolio desarrollada por Markowitz, la teoría de riesgo, y los cálculos estadísticos necesarios para estas teorías.

Se presentan cada uno de los operadores genéticos que son utilizados en el algoritmo genético, se fundamentan, justifican y son explicados al lector para que pueda entenderse la manera en que funciona el Algoritmo Genético

El algoritmo genético desarrollado en el presente trabajo es una propuesta, ya que no existe un único algoritmo genético para resolver un problema específico.

En este capítulo también se presentan los diagramas de flujo y los códigos fuente del programa que se utilizo para poder implementar el algoritmo genético.

Este capítulo es fundamental en la tesis, ya que presenta la metodología seguida para el desarrollo del algoritmo genético, con el cual se obtendrá el portafolio de inversión óptimo.

ALGORITMO GENÉTICO PARA OBTENER UN PORTAFOLIO DE INVERSIÓN ÓPTIMO

5.1 Simulación

Como ya se menciona en el Capítulo 1³⁶, la simulación es “una técnica de muestreo estadístico controlada, que es utilizada para poder estimar el desempeño de sistemas complejos en estudio del tipo estocástico (en el caso de que el modelo analítico no sea suficiente)”, por otra parte, esta se caracteriza por que describe la operación del sistema en términos de los eventos individuales de las componentes individuales, mas que describir el comportamiento del sistema.

5.2 Microsoft Visual Basic 6.0

Visual Basic es un lenguaje de programación, el cual se puede utilizar para crear programas o aplicaciones. Aunque debe señalarse que no es el único que existe en la actualidad. El lenguaje Basic (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*) se creó en 1964, en el *Dartmount College*. Inicialmente como una idea de servir como lenguaje para personas que deseaban introducirse en el mundo de la programación. Ha sufrido varias modificaciones, hasta que en 1978 se estableció el Basic estándar. Sin embargo, siempre han existido alternativas al Lenguaje Basic, tales como los lenguajes C, Pascal o Cobol, los cuales eran muy populares entre los programadores. Visual Basic 6.0 combina la sencillez del Basic con el poder de un lenguaje de programación visual que permite desarrollar robustas aplicaciones para Windows. Las interfaces gráficas de usuario (GUI Grafical User Interefaces) han revolucionado el mundo de la electrónica y la programación. En aplicaciones tradicionales o de procedimientos, la aplicación controla la porción de código a ejecutar y se ejecuta en secuencia. Dicha ejecución inicializa en la primera línea de código y continua a través de la ruta predefinida por la aplicación, llamando los procedimientos necesarios. En cambio, Visual Basic maneja programación orientada a eventos. En este último caso, los eventos son disparados por las acciones del usuario, por mensajes del sistema u otras aplicaciones, o también por la aplicación misma. La secuencia de estos eventos determina el camino que ejecutará el código, de esta forma, la ruta a través de la codificación

³⁶ *Vid. Supra. Sec. 1.4 SIMULACIÓN*

del código difiere cada vez que el programa se ejecuta. A partir de 1991, Visual Basic ha sufrido diferentes modificaciones representadas en las diferentes versiones que han salido. Este lenguaje resulta útil para crear aplicaciones como: aplicaciones y utilitarios para Windows de cualquier índole, aplicaciones que manejen bases de datos de pequeño y mediano tamaño, aplicaciones multimedia o publicaciones electrónicas en CD, juegos sencillos. Para la aplicación de Visual Basic es necesario como mínimo 50 MB de espacio libre en el disco duro, un procesador Pentium, y 16 MB de RAM, Una instalación completa requiere de mas de 300 MB de espacio en el disco duro. Visual Basic se caracteriza por que su Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) posee todas las herramientas que sean necesarias para la creación de aplicaciones en este lenguaje. Además, es posible trabajar con muchos proyectos simultáneamente.

5.2.1 Conceptos Básicos

Se define en programación el término *Objeto* al elemento de la interfase que se crea mediante la caja de herramientas del software. Pudiéndose desplazar, modificar su tamaño o personalizar sus propiedades. Los *Controles* son herramientas utilizadas para la creación de objetos que serán colocados en las formas. Estos controles poseen propiedades, métodos y eventos. Las *Propiedades* son las características propias de un objeto. Los *Eventos* son acciones reconocidas por el formulario o control. Además, existen un conjuntos de eventos predefinidos para cada control y formulario. Se define *Método* como las sentencias que dictaminan lo que realiza cada objeto.

5.2.3 Desarrollo de Aplicaciones

Lo primero que se hace cuando se desea crear una aplicación, es planificar lo que el usuario vera. Esto implica el diseño de la interfase, como son los menús que el usuario tendrá, las ventanas, los mensajes, etc. Posteriormente se trabaja propiamente en el desarrollo de la programación, es decir se crea el código que activara la interfase visual. El código se crea de tal manera que los controles respondan a los eventos. Posteriormente se buscan los errores en el código de programación y se corrigen. Resumiendo los pasos para el desarrollo de un a aplicación, primeramente la creación de la interfase, seguido de el establecimiento de propiedades, escribir código de procedimientos para los eventos, buscar y corregir errores.

5.2.4 Conceptos de Programación

Se da el nombre de *Identificador* a cualquier elemento de un programa, generalmente constantes o variables, se caracterizan por comenzar con una letra, no contienen espacios, puntos o caracteres especiales, no ser palabras propias de Visual Basic, no superan 25 caracteres. Las *Constantes* se usan para representar valores que se presentan muchas veces en el código de programación. Por convención las constantes se escriben con mayúsculas, para poder así diferenciarlas fácilmente de las variables. Las *Variables* se caracterizan por almacenar solo temporalmente los valores durante el tiempo en que se ejecuta el programa. Los *Operadores Aritméticos* son usados para cálculos. Existen operadores aritméticos como la suma, resta, multiplicación, división y exponencial. Los *Operadores Lógicos* son los que dentro de la programación están encargados de producir resultado de tipo *True* o *False*, estos son AND (conjunción lógica), NOT (negación), OR (disyunción lógica), XOR exclusión lógica, EQV (equivalencia lógica), IMP (implicación lógica). Las *Estructuras de Control* son las que durante la ejecución de un programa, controlan el flujo del mismo, determinando el orden de ejecución de las instrucciones.

5.3 Bases de Datos

El diseño de software's para base de datos surgió debido a la necesidad de mantener una gran cantidad de datos bien organizados, siendo posible consultarlos inmediatamente para convertir esos datos en información útil. Actualmente existen muchos paquetes que se utilizan para manejar datos, tanto a nivel de usuario como industrial. Por ejemplo a nivel de usuario encontramos Access y a nivel industrial existe Oracle, SQL Server, SyBase, etc.

5.3.1 Estructura de una Base de Datos

Se conoce como *Estructura* a la forma en que está organizada la base de datos en su interior. Se debe estar consiente que es indispensable un diseño correcto de la estructura , ya que a mayor número de datos mayor complejidad dentro de la estructura propia de la base de datos. La Estructura de la Base de datos se conforma de tablas (se agrupan datos del mismo tipo y tema), campos (representa una característica en común del tema de la tabla, pueden existir varios campos dentro de una misma tabla), registros (son los datos propiamente dichos, y se encuentran guardados en la tabla).

5.3.2 Bases de Datos con Visual Basic

Visual Basic tiene la posibilidad de conectarse a varios tipos diferentes de bases de datos mediante la tecnología OLE DB (OLE Data Base). Esta es una aplicación de Visual Basic que permite trabajar con cualquier tipo de datos. En la Tabla 5.1 se muestran los controladores de Visual Basic y en la contraparte se indican los tipos de datos que manejan

| Proveedor | Tipos de Datos |
|---|-----------------------------|
| Microsoft Jet 3.51 OLE DB Provider | Base de datos Access MDB |
| Microsoft OLE DB Provider for ODBC Drivers | Origen de datos ODBC |
| Microsoft OLE DB Provider for Oracle | Base de datos en Oracle |
| Microsoft OLE DB Provider for SQL Server | Base de datos de SQL Server |
| Microsoft OLE DB Provider for Simple Provider | Proveedor Simple |

Tabla 5.1 Proveedores OLE DB

5.4 Planteamiento del Problema

5.4.1 Definición del Problema

El problema consiste en encontrar el portafolio de inversión más óptimo mediante el método de algoritmos genéticos. Se debe enfatizar, que aunque este portafolio es el mejor de todas las opciones obtenidas mediante el algoritmo genético, no necesariamente es el mejor de todos los portafolios de inversión, ya que puede existir una solución mucho mejor que no sea generada al momento de simular.

5.4.2 Hipótesis

Mediante el Método de Algoritmos Genéticos se obtendrá el Portafolio de Inversión con mayor rendimiento y menor riesgo, el cual estará conformado por las acciones y sus respectivas proporciones que nos den el resultado anteriormente mencionado.

5.4.3 Síntesis y Análisis del Problema

Las Carteras de Inversión o Portafolios de Inversión están compuestas por acción, en cierta proporción cada una, y con cierto riesgo. Mediante la teoría de cartera se obtiene el rendimiento y el riesgo del portafolio en su conjunto. Existen una gran diversidad de opciones de portafolio, pero sólo unos cuantos de estos son óptimos, los que presentan el menor riesgo y el mayor rendimiento simultáneamente. Utilizando el Método de Algoritmos Genéticos se obtendrá el portafolio de inversión que sea el mejor de un conjunto inicial (población inicial) de portafolios de inversión. Este algoritmo genético esta basado en la teoría de Portafolios y sus respectivas ecuaciones, así como ciertos ajustes para poder concluir satisfactoriamente el proceso de cálculo del algoritmo genético. Estos cálculos y ecuaciones se detallan en el código fuente del algoritmo genético. Los datos utilizados para los portafolios de inversión y el algoritmo genético son la cotización de las acciones en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV). Dichos datos son las cotizaciones diarias de las diferentes acciones en la BMV, así como el Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) como indicador del comportamiento del mercado de acciones. Con estos datos se calcularán los rendimientos, los índices 2_i , y en general todos los parámetros de la Teoría de Portafolio. Dichos datos y parámetros se utilizarán en el algoritmo genético en sus diferentes etapas según se necesiten.

5.4.4 Experimentación, resultados y conclusiones

La experimentación consiste en realizar varias simulaciones con el mismo algoritmo genético con lo que se obtendrán varios resultados, los cuales corresponden a los portafolios óptimos. Con lo cual se podrá comparar la efectividad del algoritmo genético y determinar un único portafolio de inversión final que sea el más óptimo de todos los portafolios resultantes. Con lo que se cumplirá con el objetivo de esta tesis: el desarrollo de un algoritmo genético para la selección de un portafolio de inversión óptimo dado una gama de portafolios, y la obtención de un portafolio óptimo de inversión mediante el método de algoritmos genéticos. Tanto los resultados como las conclusiones se presentarán en los capítulos correspondientes de esta tesis.

5.5 Algoritmo Genético para la Selección de una Cartera de Inversión Óptima

5.5.1 Descripción del Proyecto

El proyecto está compuesto por un módulo de jerarquía máxima y otros subordinados a este. En la Figura 5.1 se presenta de forma esquemática el módulo **Port. Inv.** y su estructura interna. Este módulo utiliza el algoritmo genético como proceso de búsqueda evolutiva, el cual se describe en la Figura 5.2. Este módulo recibe datos primarios como rendimiento, riesgo o varianza de cada acción, índice de precios y cotizaciones (IPC). Entrega la cantidad de cada acción dentro del portafolio resultante, rendimiento, riesgo o varianza de cada acción, coeficiente beta tanto del portafolio como de las acciones que lo componen, rendimiento y riesgo o varianza del portafolio en su conjunto.

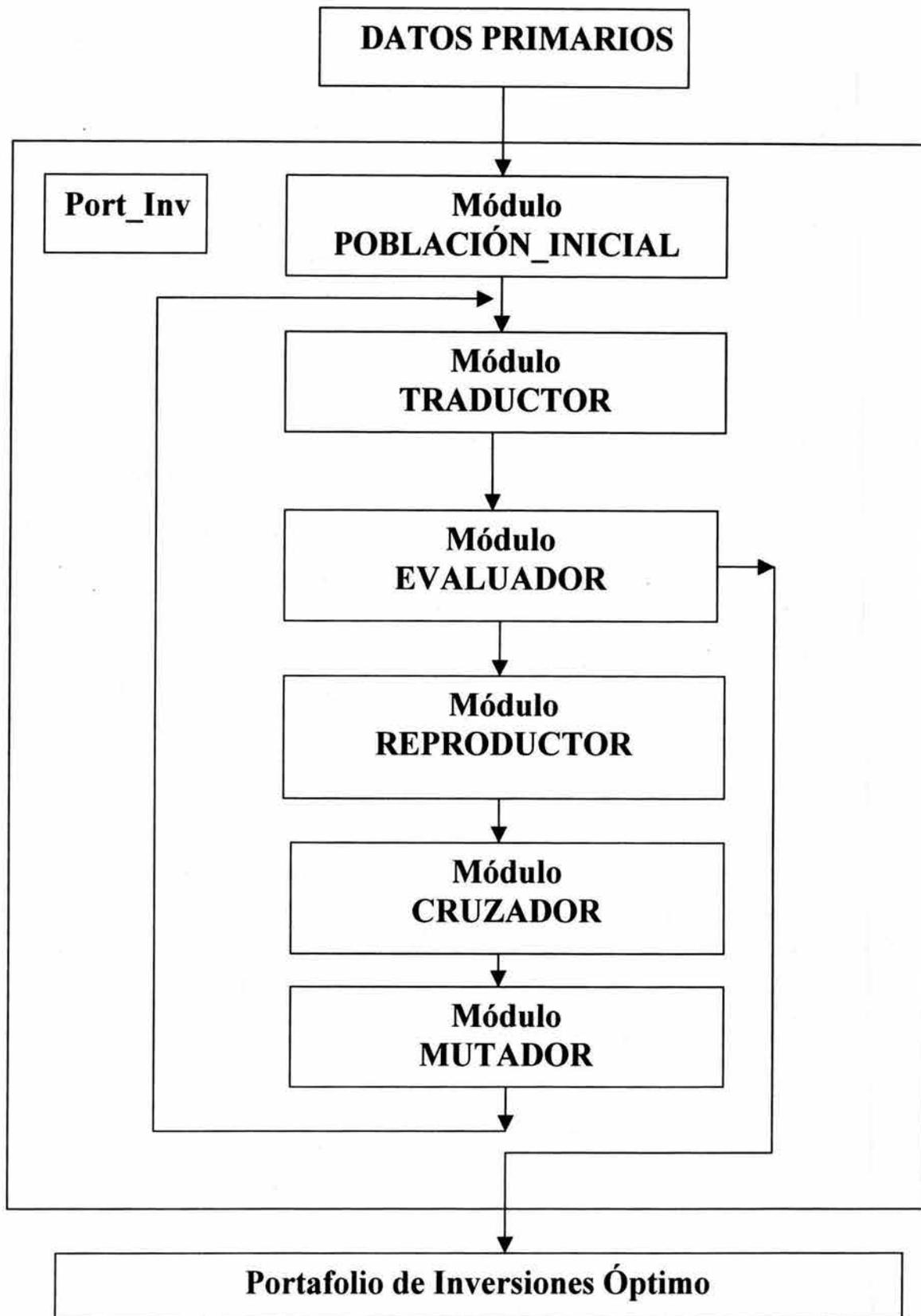


Figura 5.1 Estructura del Módulo Port_Inv.

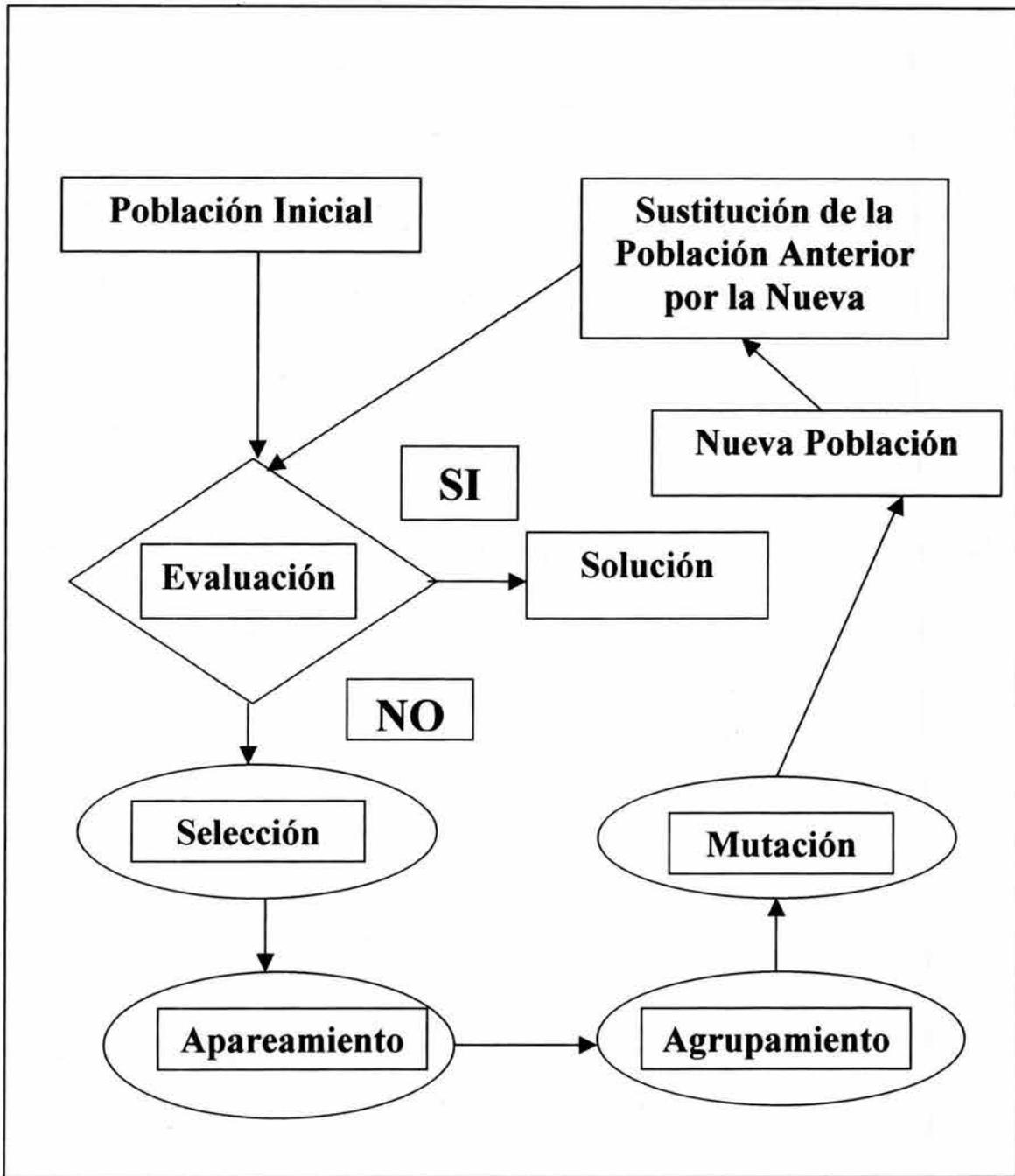


Figura 5.2 Ciclo Básico del Algoritmo Genético

5.5.2 Módulo de Población Inicial

Este es el primer módulo, el cual se utiliza para generar el código genético de 100 individuos (o portafolios de inversión) aleatoriamente, al usar la función RND, dicha función selecciona un número entre el 0 y 1. La cadena genotípica de cada uno de estos individuos consta de 30 segmentos (lo que equivale a 15 acciones, basado en la diversificación del riesgo). Cada par de segmentos corresponde primero, al número que identifica a cada acción ordenada alfabéticamente y numerada de 1 a N número de acciones (tipo 1), y segundo, a la proporción aleatoria de esta acción dentro del portafolio de inversión (tipo 2). El agente de exploración se presenta mediante la ecuación 5.1 representado genotípicamente.

Individuo (n) = [(Código identificador Acción K1) (Proporción Acción k1 en Portafolio) , . . . , (Código identificador Acción K15) (Proporción Acción K15 en Portafolio)

(5.1)

El código identificador de cada acción se determina al ordenar alfabéticamente todo el conjunto de acciones y posteriormente en ese orden, asignarles un número consecutivo desde 1 hasta N, donde N es el número total de acciones. Tanto la acción seleccionada como su proporción son asignados aleatoriamente. En este trabajo de investigación se toman 60 acciones dentro de las cuales se seleccionaran aleatoriamente los segmentos de Código identificador de Acción. Basado en esto, se analizarán los segmentos uno y dos, es decir, El código de identificación de la acción y su proporción respectivamente.

Segmento Tipo 1: Código de Identificación de la Acción (IDE)

Dominio: $IDE \in [IDE_{min}, IDE_{max}] = [1, 60]$

Longitud del dominio: $D_{IDE} = IDE_{max} - IDE_{min} = 60 - 1 = 59$

Precisión:

- **posiciones después del punto decimal: $pd=0$**
- **precisión $P= 1 \times 10^{pd} = 1$**

Número de bits (S) que componen la cadena binaria de este segmento:

- **$N_{div_{min}} = (D_{IDE}) (p) = (59)(1) = 59$**

- $2^{S-1} < N_{div_{min}} < 2^S$ ENTONCES $S_1 = 5.28$ por lo que se debe redondear $S_1 = 6$

Número de genes de este tipo de segmento = $2^S = 2^6 = 64$ genes

La cadena genotípica de tipo de segmento debe ser : $[b_{S-1} b_{S-2} \dots b_0] = [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]$

Para la transformación de genotipo a fenotipo se debe utilizar (de la ecuación 4.8):

$$([b_{S-1}, b_{S-2}, \dots, b_0])_2 = [\sum_{i=0}^{S-1} b_i 2^i]_{10} = IDE'$$

$$[b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_2 = [\sum_{i=0}^5 b_i 2^i]_{10} = IDE'$$

El valor real de IDE en base 10 o fenotipo es (de la ecuación 4.9):

$$IDE = IDE_{min} + IDE' [IDE_{max} / (2^S - 1)]$$

Por lo que el espacio de búsqueda es: $IDE \in [1, 60]$

Longitud de la cadena = $S_1 = 6$ bits

La cadena genotípica de este segmento es:

$$[(IDE_{min}, IDE_{max}), pd, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_2] = [(1, 60), 0, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_2]$$

Segmento Tipo 2: Proporción de la Acción dentro del Portafolio o Individuo (PROP)

Dominio: $PROP \in [PROP_{min}, PROP_{max}] = [1, 15]$

Longitud del dominio: $D_{PROP} = PROP_{max} - PROP_{min} = 15 - 1 = 14$

Precisión:

- posiciones después del punto decimal: $pd=0$
- precisión $P = 1 \times 10^{pd} = 1$

Número de bits (S) que componen la cadena binaria de este segmento:

- $N_{div_{min}} = (D_{PROP}) (p) = (14)(1) = 14$

- $2^{S-1} < N_{div_{min}} < 2^S$ ENTONCES $S_2 = 4$

Número de genes de este tipo de segmento = $2^S = 2^4 = 16$ genes

La cadena genotípica de tipo de segmento debe ser : $[b_{S-1} b_{S-2} \dots b_0] = [b_3 b_2 b_1 b_0]$

Para la transformación de genotipo a fenotipo se debe utilizar (de la ecuación 4.8):

$$([b_{S-1}, b_{S-2}, \dots, b_0])_2 = [\sum_{i=0}^{S-1} b_i 2^i]_{10} = PROP$$

$$[b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_2 = [\sum_{i=0}^6 b_i 2^i]_{10} = PROP$$

El valor real de PROP en base 10 o fenotipo es (de la ecuación 4.9):

$$PROP = PROP_{min} + PROP' \cdot [PROP_{max} / (2^S - 1)]$$

Por lo que el espacio de búsqueda es: $PROP \in [1, 15]$

Longitud de la cadena = $S_2 = 4$ bits

La cadena genotípica de este segmento es:

$$[(PROP_{min}, PROP_{max}), pd, [b_3 b_2 b_1 b_0]_2] = [(1, 15), 0, [b_3 b_2 b_1 b_0]_2]$$

Representación Genotípica Final del Agente de Exploración

$$Ind(n) = [(IDE_1_{min}, IDE_2_{max}), pd_{IDE_1}, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_1 \mid (PROP_1_{min}, PROP_2_{max}), pd_{PROP_1}, [b_3 b_2 b_1 b_0]_1 \mid, \dots, (IDE_{15}_{min}, IDE_{15}_{max}), pd_{IDE_{15}}, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_{15} \mid (PROP_{15}_{min}, PROP_{15}_{max}), pd_{PROP_{15}}, [b_3 b_2 b_1 b_0]_{15}]$$

$$Ind(n) = [(1,60), 0_{IDE_1}, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_1 \mid (1,15), 0_{PROP_1}, [b_3 b_2 b_1 b_0]_1 \mid, \dots, (1,60), 0_{IDE_{15}}, [b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0]_{15} \mid (1,15), 0_{PROP_{15}}, [b_3 b_2 b_1 b_0]_{15}]$$

Se observa que esta representación consta de 30 segmentos, 15 segmentos del Tipo 1 y 15 del Tipo 2.

El número de individuos en todo el espacio de búsqueda es = $2^6 + 2^4 = 80$

El tamaño de la población es = 100

Cada segmento del individuo es una cadena de bits que pueden ser 0 ó 1. Cada bit se asigna a una variable denominada **gen (*,*,*)** . Dentro del gen, el primer argumento representa al individuo, el segundo representa el segmento propiamente, la longitud propia de cada segmento(S_1 ó S_2), y el tercero es el bit del segmento. Lo cual se aprecia en la Figura 5.3.

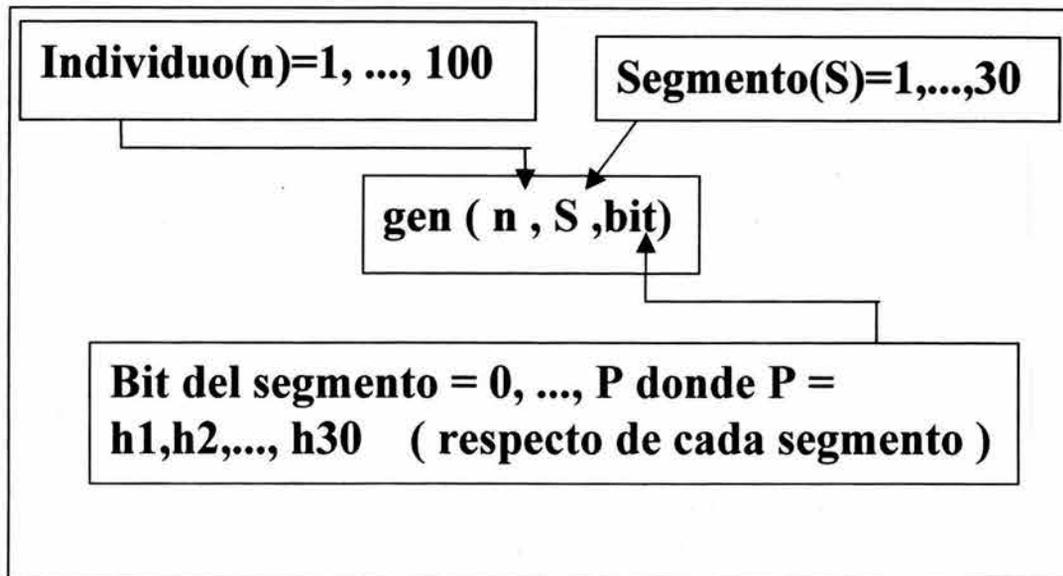


Figura 5.3 Cadena Genotípica y sus respectivos Argumentos

Para el individuo n se tiene la siguiente cadena de genes (Figura 5.4)

| | |
|----------------|--|
| Ind (n) | gen(n,1,0),...,gen(n,1,6),gen(n,2,0),...,gen(n,2,4),.....,gen(n,29,0),...,gen(n,29,6), gen(n,30,0),...gen(n,30,4) |
|----------------|--|

Figura 5.4

En la Figura 5.6 se presenta el Diagrama de Flujo que representa el proceso para generar los $100(S_1 + S_2 + 2)$ números asignados a **gen(*,*,*)**. En este proceso se utilizan módulos de segundo nivel para formar cada segmento del genotipo.

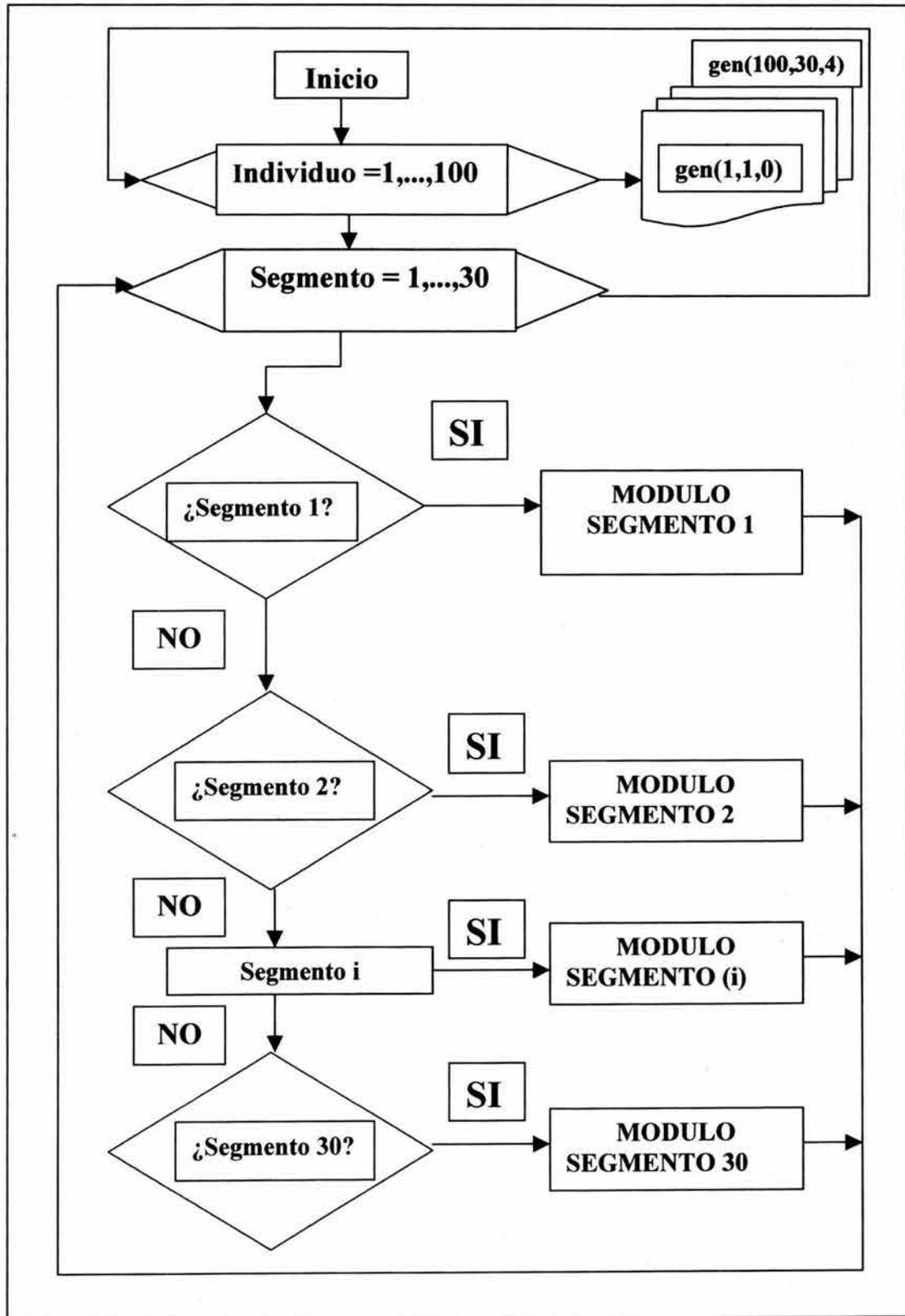


Figura 5.6 Proceso utilizado en el Módulo POBLACIÓN_INICIAL

El módulo **SEGMENTO_1** tiene la función de generar bits 0 ó 1 para el primer segmento del individuo. Los módulos siguientes realizan la misma función para cada segmento, ver Figura 5.7. Donde S1 es la longitud del segmento tipo 1.

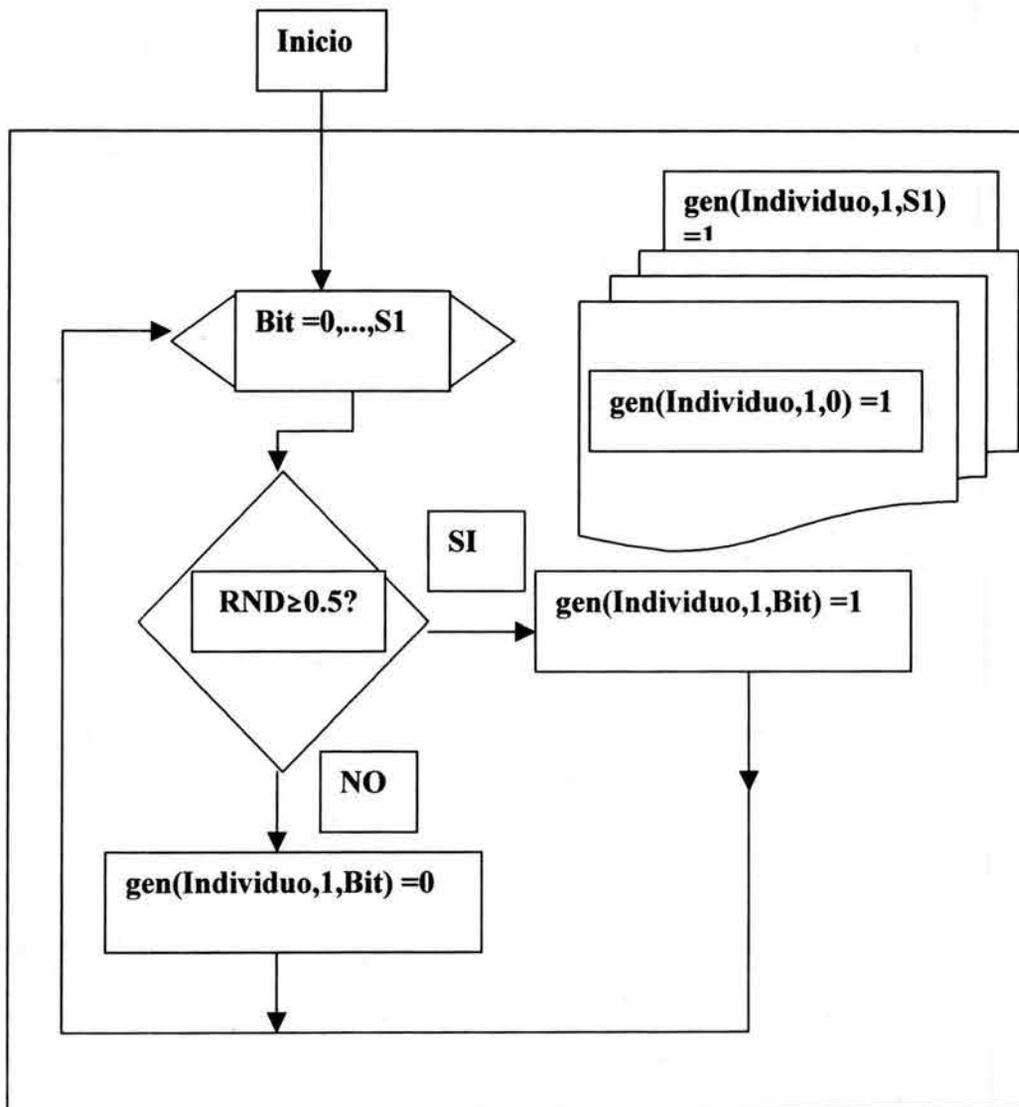


Figura 5.7 Proceso del Módulo **SEGMENTO_1**

En la Figura 5.8 se presenta la relación que guarda el Módulo **POBLACIÓN_INICIAL** con respecto al Módulo **TRADUCTOR**. Cada paquete gen obtenido es enviado al módulo **TRADUCTOR**.

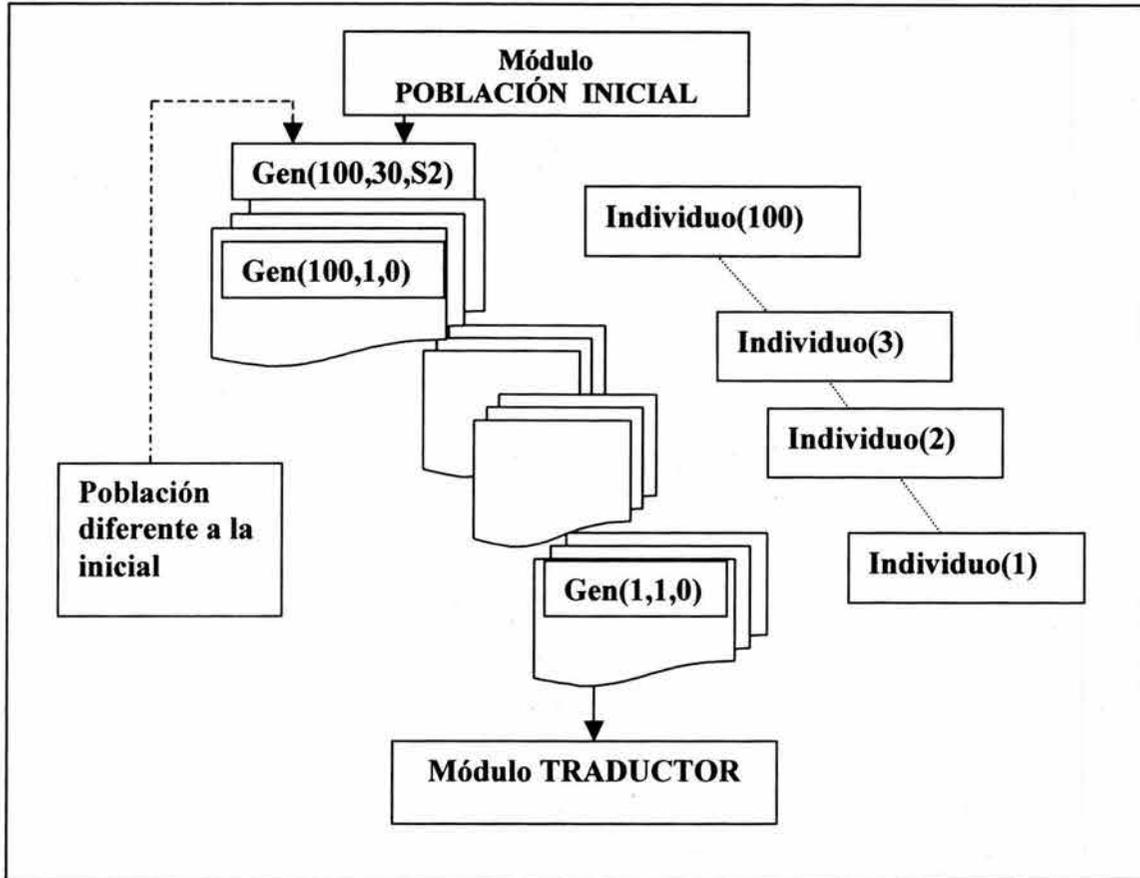


Figura 5.8 Relación del módulo **POBLACIÓN_INICIAL** y el módulo **TRADUCTOR**

5.5.3 Módulo Traductor

La función de este módulo es la de recibir los datos enviados del módulo **POBLACIÓN_INICIAL**, para posteriormente darle la forma fenotípica a la cadena de cromosomas de cada uno de los individuos. Este módulo toma la información genética de los individuos, cada paquete de información es transportado por el **gen(*,*,*)** y

los transforma a su forma fenotípica o decimal. La información proviene del módulo de **POBLACIÓN_INICIAL** o de los ciclos posteriores (Figura 5.8) en los que exista ya la reproducción, cruce y mutación. Esta información es procesada y enviada al módulo **EVALUADOR**. EL módulo traductor hace uso de dos ecuaciones básicas para traducir de sistema binario a sistema decimal, estas ecuaciones son las que se plantearon anteriormente, las ecuaciones 4.8 y 4.9.

El módulo **TRADUCTOR** convierte de la cadena binaria de base 2 a base 10, mediante la siguiente ecuación:

$$([b_{s-1}, b_{s-2}, \dots, b_0])_2 = [\sum_{i=0}^{s-1} b_i 2^i]_{10} = E'$$

Posteriormente se obtiene el valor real, ya que el valor obtenido debe ser reajustado al dominio de las variables correspondientes, lo cual se obtiene mediante la ecuación:

$$E = E_{\min} + E' [E_{\max} / (2^S - 1)]$$

Al terminar de procesar esta información la envía al módulo **EVALUADOR** en forma de Fenotipo, como se aprecia en la Figura 5.9.

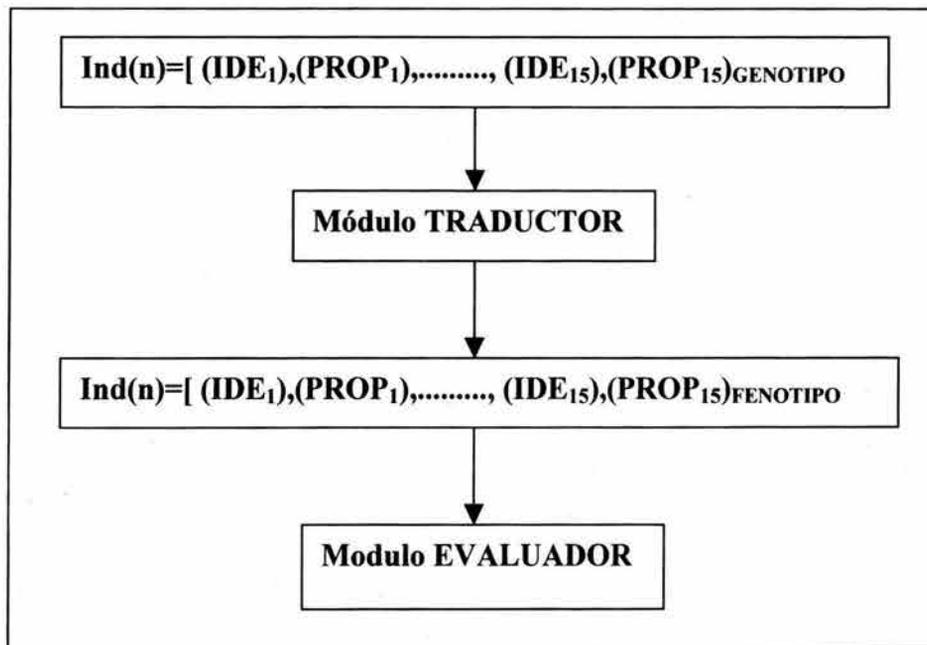


Figura 5.9 Transformación de Genotipo a Fenotipo y envío de esta información del Módulo TRADUCTOR al Módulo EVALUADOR

Es muy importante hacer notar que dentro de la cartera de inversión la suma total de las proporciones de cada una de las acciones del portafolio de inversión, corresponde exactamente al 100%. Además, al generar la población inicial el valor de esta proporción puede ser de 100(%) para mas de una acción, ya que se genera aleatoriamente. Lo que da como resultado que la sumas total sea de mas del 100%. Por otro lado, en este proyecto se toman carteras eficientes y con un riesgo mínimo y diversificación del riesgo, lo cual se logra mediante la diversificación de la cartera. Por todo lo anterior se utilizará un porcentaje de cada acción no mayor al 15% (este valor es arbitrario y se basa únicamente en la minimización del riesgo debida a la diversificación de la cartera). Esto se logra al realizar el siguiente procedimiento, la suma es generalmente mayor a 100% para cada individuo, se encuentra el mayor de las 15 proporciones para cada individuo y la suma total de las proporciones, por regla de tres simple se ajusta a los nuevos valores. Debido a la precisión decimal, la nueva suma puede variar del 100%, por lo que se hace un segundo ajuste, si la suma pasa del 100% , la diferencia del valor que da menos 100, se le resta el porcentaje mayor, y si la suma es menor a 100, la diferencia en valor absoluto de lo que da la sumatoria menos 100 se suma al menor valor de las proporciones con lo que se asegura que en todos los individuos la suma final de las proporciones de las acciones sea 100. Con los pasos anteriores se asegura un 100% del total de las proporciones de las acciones y además, la diversificación.

5.5.4 Módulo Evaluador

Este Módulo recibe información del **TRADUCTOR** en forma decimal o fenotípica. En este modulo se evalúa la aptitud del individuo, es decir, que tan optimo es el portafolio de inversión formado. Esto lo realiza mediante varios módulos de segundo nivel. Las ecuaciones que se utilizan para los diferentes módulos del evaluador son obtenidas de la teoría moderna de portafolio y del análisis beta, las cuales se presentan a continuación:

- a) Coeficiente del Beta del activo i:

$$\beta_i = [\sigma_{im} / \sigma_m^2] = (\sum_{t=1}^n [(R_i - \bar{R}_i)(R_m - \bar{R}_m)]) / [(\sum_{t=1}^n (R_m - \bar{R}_m)^2)]$$

(Tomado de la ecuación 3.28)

- b) Coeficiente Alfa del activo i:

$$\alpha_i = (R_i - \beta \bar{R}_m)$$

(Tomado de la ecuación 3.29)

c) Coeficiente Beta del Portafolio

$$\beta_p = \sum_{i=1}^n X_i \beta_i$$

(Tomado de la ecuación 3.34)

d) Coeficiente Alfa del Portafolio

$$\alpha_p = \sum_{i=1}^n X_i \alpha_i$$

(Tomado de la ecuación 3.35)

e) Rendimiento del Portafolio

$$\bar{R}_p = \alpha_p + \beta_p \bar{R}_m$$

(Tomado de la ecuación 3.36)

f) Varianza o Riesgo del Portafolio

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i X_j \beta_i \beta_j \sigma_m^2$$

(Tomado de la ecuación 3.32)

Los datos calculados antes de iniciar cualquier simulación son:

R_i = Rendimiento del activo i

\bar{R}_i = Rendimiento Promedio de cada activo

R_m = Rendimiento del mercado (IPC)

\bar{R}_m = Rendimiento Promedio del mercado

σ^2 = Varianza

σ = Desviación Estándar

β_i = Coeficiente Beta del activo i

α_i = Coeficiente alfa del activo i

Los datos aleatorios generados en el módulo POBLACIÓN_INICIAL son:

i = Activo i generado aleatoriamente

X_i = Proporción del Activo i

Los Resultados que genera este módulo son:

α_p = Coeficiente alfa del portafolio

β_p = Coeficiente beta del Portafolio

\bar{R}_p = Rendimiento del Portafolio

σ_p^2 = Riesgo del Portafolio

Los resultados generados se envían a un modulo de segunda clase llamado **EVAL_FUN_CALIFICACIÓN**, en el cual se dará una calificación a cada uno de los individuos de la población (portafolios de inversión). Esta calificación está comprendida entre 0 y 1. Por lo que aquél individuo que obtenga mayor calificación será más apto para reproducirse. En la figura 5.10 se presentan el módulo **EVALUADOR**

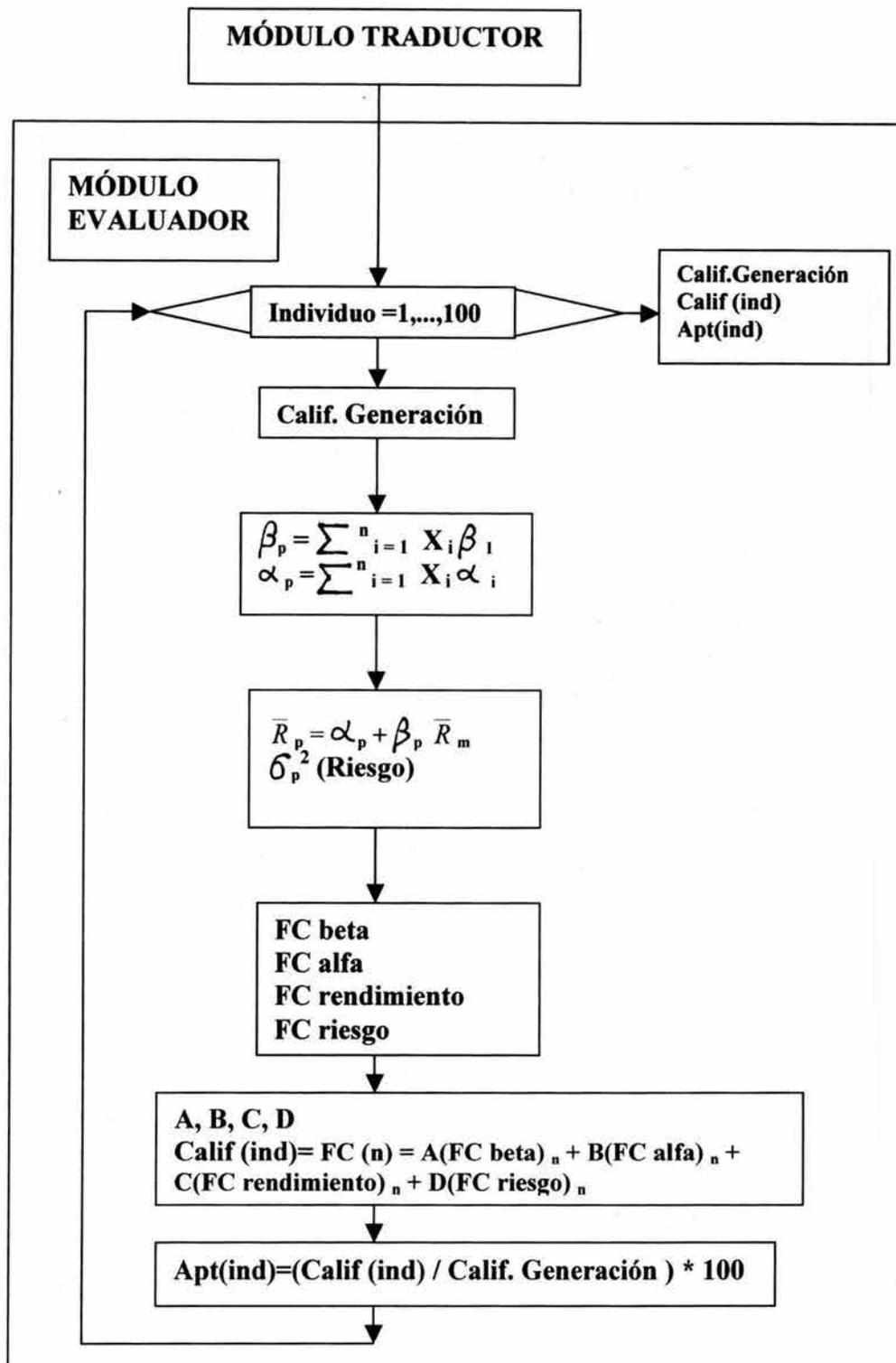


Figura 5.10 Submódulos constitutivos del EVALUADOR

La Función de calificación para cada individuo se compone de cuatro apartados: el promedio de todos los coeficientes beta, el promedio de todos los coeficientes alfa, el promedio de todos los rendimientos y el promedio de todos los riesgos; así como de sus factores correspondientes. Con estos cuatro incisos se evalúa la Función Calificación para cada individuo, se debe aclarar que las proporciones para cada uno de estos apartados es arbitraria, basándose únicamente en la minimización del riesgo y la maximización del rendimiento.

Se obtiene el Rendimiento Promedio de todos los portafolios $\text{Prom}(\bar{R}_p)$, posteriormente se obtiene el Riesgo Promedio de todos los portafolios $\text{Prom}(\sigma_p^2)$. Después se evalúa cada uno de los incisos como sigue.

(FC beta):

Si $\beta_p > 0$ entonces **FC beta = 0** (mayor riesgo que el mercado)

Si $\beta_p = 0$ entonces **FC beta = 1** (riesgo idéntico al del mercado)

Si $\beta_p < 0$ entonces **FC beta = 2** (menor riesgo que el mercado)

(FC alfa):

Si $\alpha_p > 0$ entonces **FC alfa = 2** (mayor rendimiento que el mercado)

Si $\alpha_p = 0$ entonces **FC alfa = 1** (rendimiento idéntico al del mercado)

Si $\alpha_p < 0$ entonces **FC alfa = 0** (menor rendimiento que el mercado)

(FC rendimiento):

Si $\bar{R}_p > \text{Prom}(\bar{R}_p)$ entonces **FC rendimiento = 2** (mayor rendimiento que el rendimiento promedio)

Si $\bar{R}_p = \text{Prom}(\bar{R}_p)$ entonces **FC rendimiento = 1** (rendimiento idéntico al del rendimiento promedio)

Si $\bar{R}_p < \text{Prom}(\bar{R}_p)$ entonces **FC rendimiento = 0** (menor rendimiento que el rendimiento promedio)

(FC riesgo):

Si $\sigma_p^2 > \text{Prom}(\sigma_p^2)$ entonces **FC riesgo = 0** (mayor riesgo que el riesgo promedio)

Si $\sigma_p^2 = \text{Prom}(\sigma_p^2)$ entonces **FC riesgo = 1** (riesgo idéntico al del riesgo promedio)

Si $\sigma_p^2 < \text{Prom}(\sigma_p^2)$ entonces **FC riesgo = 2** (menor riesgo que el rendimiento promedio)

Después se debe calcular la Función Calificación para cada individuo (n), mediante la siguiente ecuación:

$$FC(n) = A(FC\ beta)_n + B(FC\ alfa)_n + C(FC\ rendimiento)_n + D(FC\ riesgo)_n \quad (5.2)$$

Esta ecuación es una función propuesta para así poder evaluar al individuo, los cofactores A, B, C, D suman en total 1 (100%) con lo cual se pretende dar mayor o menor importancia a cada uno de los factores. Los valores (arbitrarios) de los cofactores son:

$$A = 0.2$$

$$B = 0.1$$

$$C = 0.35$$

$$D = 0.35$$

$$A + B + C + D = 1$$

Con la combinación de los factores y cofactores se obtendrá un factor de evaluación favorable a portafolios de inversión de mayor rendimiento y menor riesgo. Los resultados que se obtienen en este módulo y que se entregan al módulo reproductor son:

$$\text{Calificación del individuo: } Calf_(\text{ind } i) = FC(i) \quad (5.3)$$

$$\text{Calificación de la Generación: } Calf_Generación(j) = (1/n) * \sum_{i=1}^{100} Calf_(\text{ind } i) \quad (5.4)$$

$$\text{Aptitud del individuo o relativa: } Apt_(\text{ind } i) = (Calf_(\text{ind } i) / Calf_Generación(j)) * 100 \quad (5.5)$$

i varía de 1 a 100 individuos y j es el número de la generación y n es el número total de individuos (100)

5.5.5 Módulo Reproductor

Para reproducir a los individuos se ordenan de acuerdo con su aptitud relativa, de menor a mayor. Con la utilización de la función **RND** se genera un número de forma aleatoria entre 0.000 y 1.000 para así escoger un individuo *n* que este dentro del rango de aptitudes relativas según la ecuación 5.6. Esta operación se repite tantas veces como individuos existan en la población. Mediante esta operación los individuos con mayor aptitud poseen mayor probabilidad de ser seleccionados para la reproducción. Los datos que ingresan a este módulo son la población inicial y la aptitud relativa de cada individuo.

$$\sum_{i=1}^{n-1} \text{apt_rel}(i) < \text{RND} * 100 < \sum_{i=1}^n \text{apt_rel}(j) \quad (5.6)$$

Cuando se realiza la simulación por primera vez, el módulo **POBLACIÓN_INICIAL** es el que entrega el conjunto de individuos, en los demás casos, la población la entrega el módulo **MUTADOR**. La calificación proviene del módulo **EVALUADOR**. Este módulo entrega una nueva población que consta de individuos con mejores cualidades genéticas (aunque es probable que existan individuos menos calificados). La relación entre este módulo y los otros módulos se presenta en la Figura 5.11, en las figuras 5.11.A y 5.11.B se muestra el módulo **REPRODUCTOR**

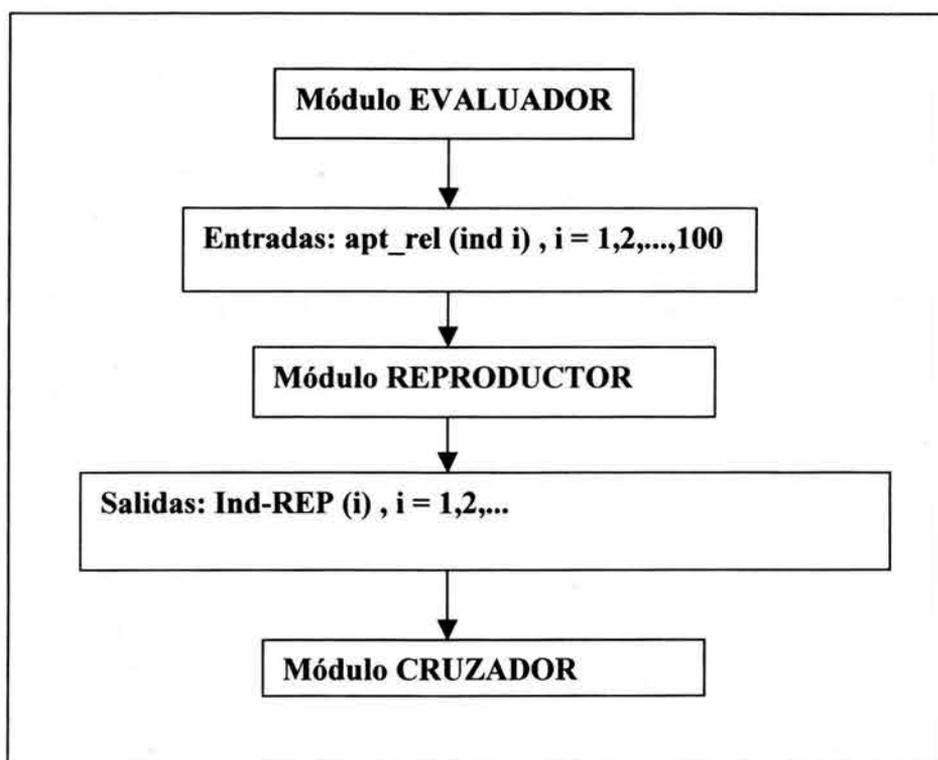
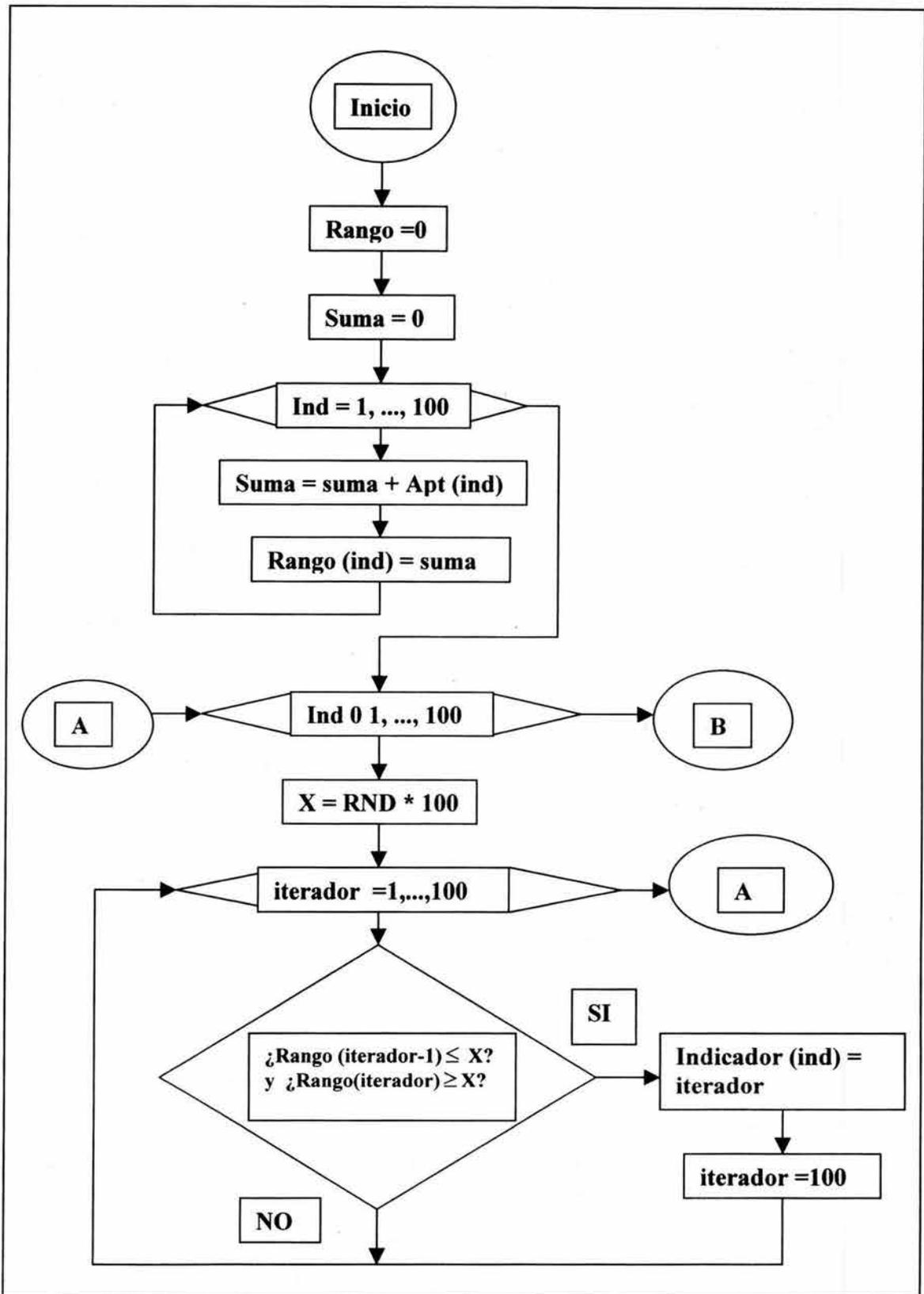
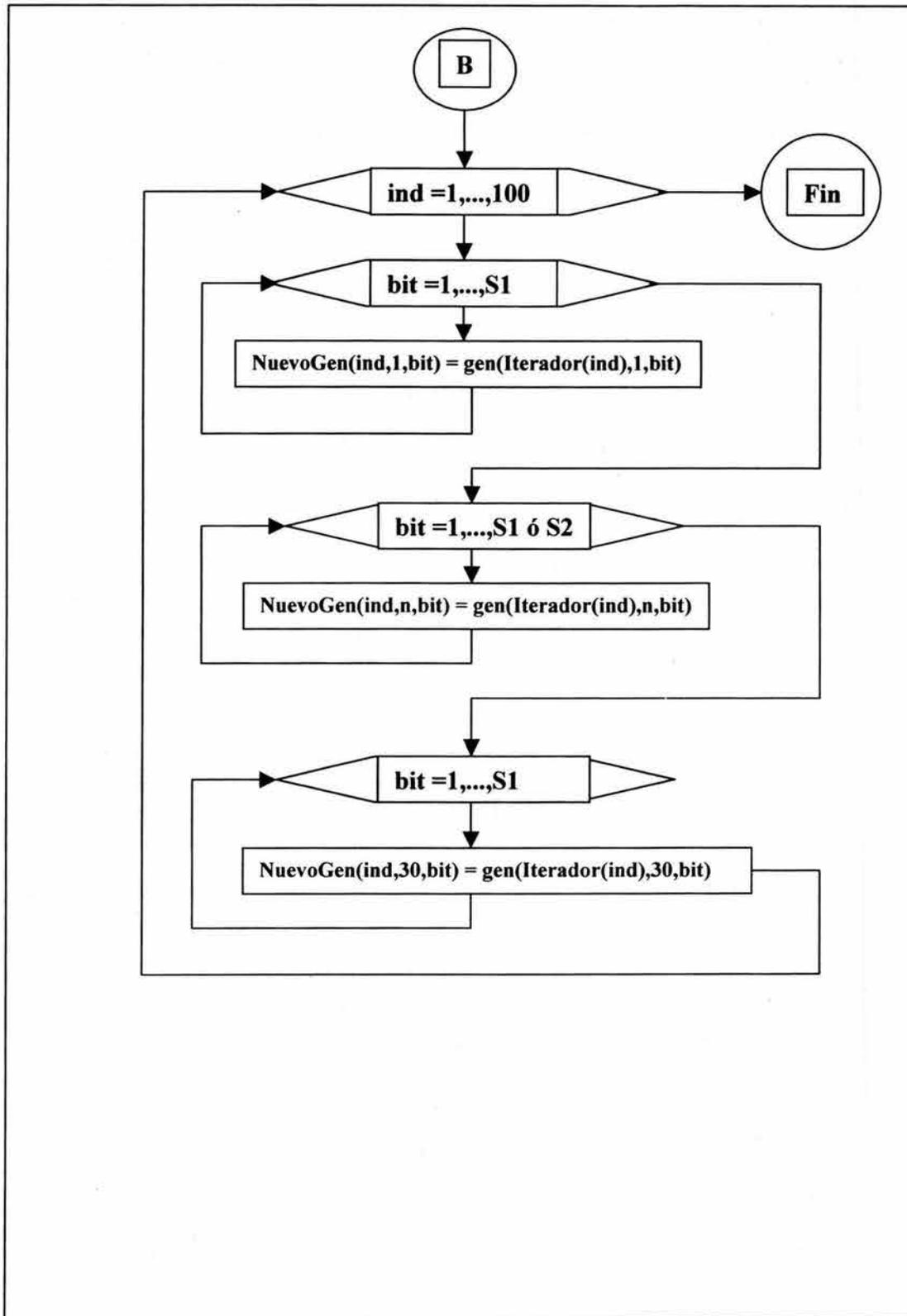


Figura 5.11 Relación entre el módulo **REPRODUCTOR** y los otros módulos



5.11 A Módulo REPRODUCTOR



5.11.A Módulo REPRODUCTOR

5.5.6 Módulo Cruzador

La población de individuos más aptos enviada por el módulo **REPRODUCTOR** se utilizará para obtener una nueva población de “hijos”. Los individuos provenientes del módulo **REPRODUCTOR** transmitirán sus genes a los “hijos”. En la Figura 5.12 esta representado la forma en que trabaja el módulo **CRUZADOR**. Para realizar esto, se sigue el procedimiento:

- Formar parejas
- Seleccionar genes de cada pareja padre-madre que se transmitirán a los hijos
- Crear los nuevos individuos (hijos)
- Sustituir a los individuos “padres” por los individuos “hijos”

Para formar parejas se ha diseñado un submódulo **SELECCIÓN_COMPAÑEROS** para seleccionar de forma aleatoria dos compañeros. Para seleccionar el paquete genético se ha diseñado el submódulo **PUNTO_CRUCE** (un solo punto de cruce aleatorio). El submódulo **FORMADOR_HIJOS** se utiliza para la concepción y alumbramiento de los hijos, y sirve para transmitir los segmentos parciales genéticos de los padres para formar dos nuevos individuos llamados hijos. El submódulo **NUEVA_POBLACIÓN_CRUZADOR** sustituye a los padres por los hijos. En la Figura 5.12 se muestra la el módulo **CRUZADOR** y su relación con otros módulos. En las figuras 5.13 hasta 5.16 se presentan los submódulos constitutivos del modulo **CRUZADOR**.

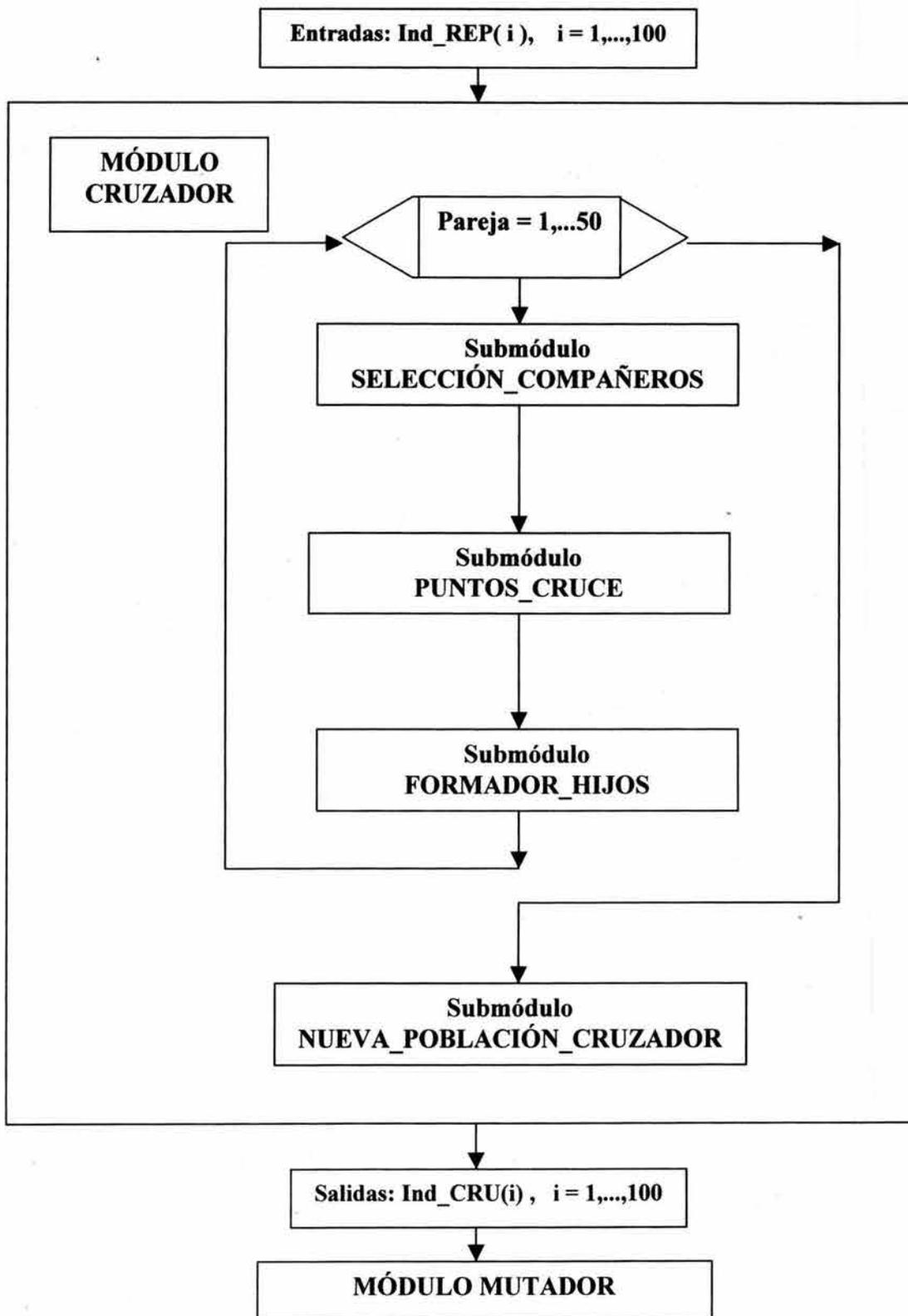


Figura 5.12 Relación entre el módulo CRUZADOR y los otros módulos.

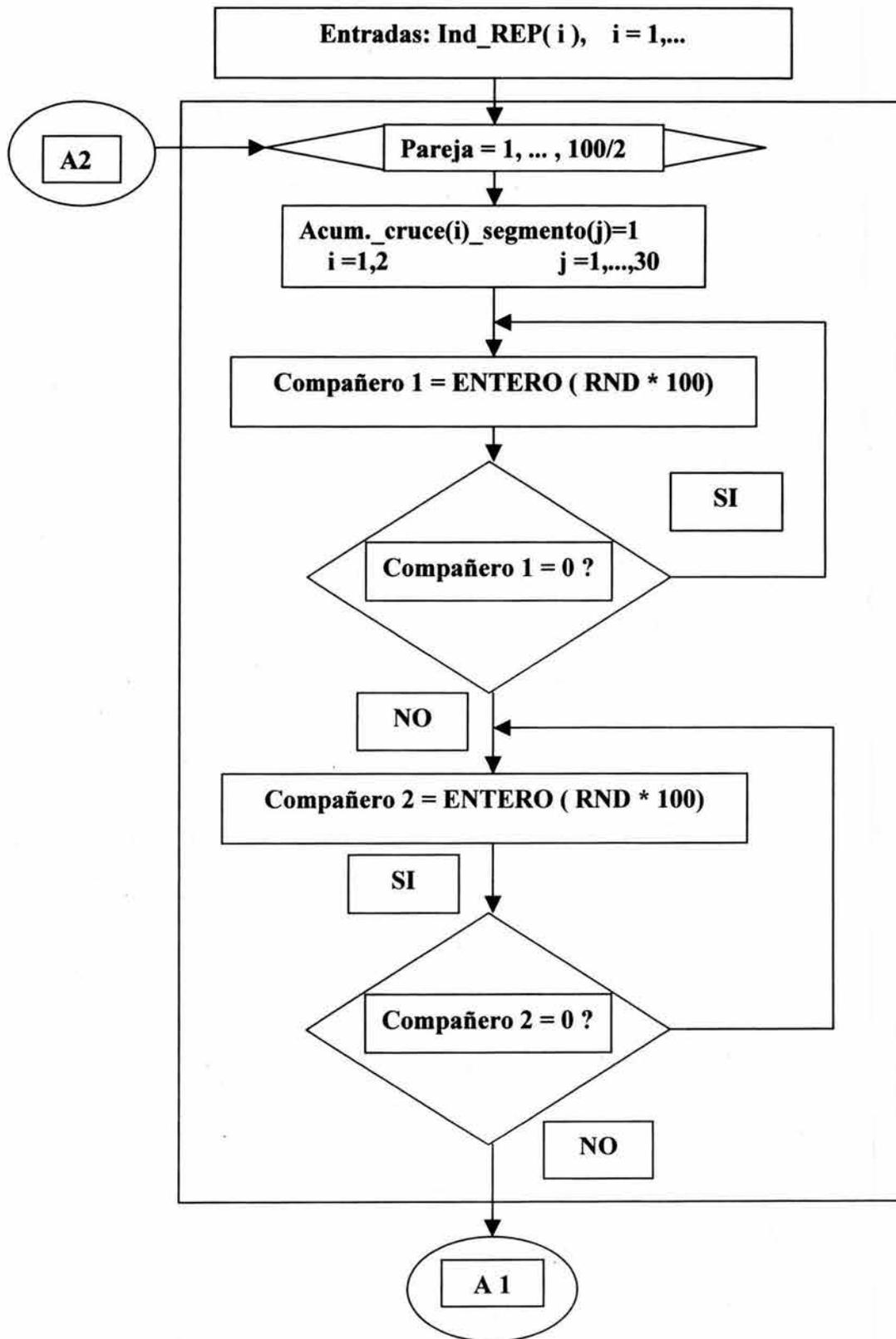


Figura 5.13 Submódulo SELECCIÓN_COMPANEROS

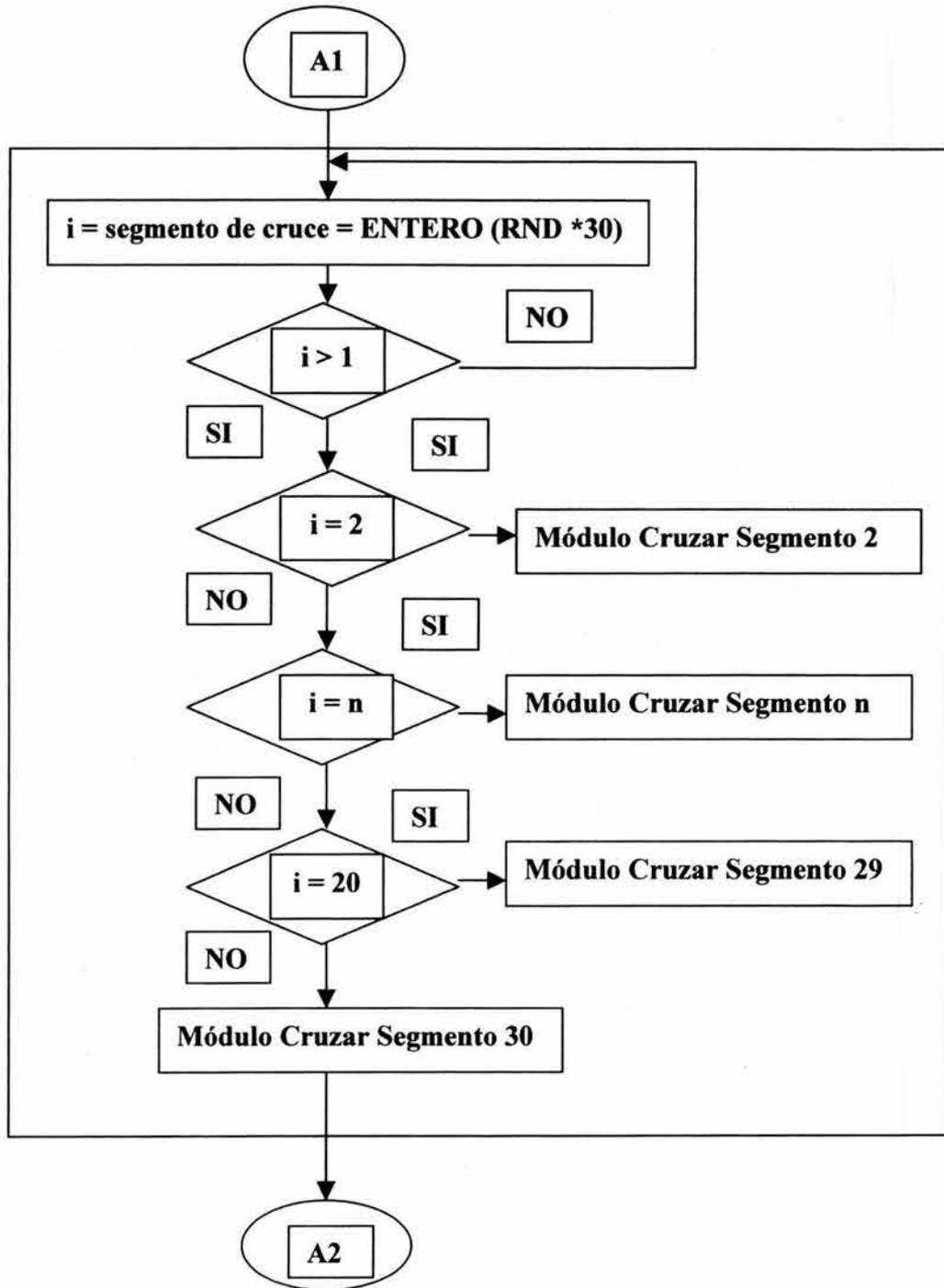


Figura 5.14 Submódulo PUNTOS_CRUCE para cada pareja

Por ejemplo: Módulo Cruzar Segmento2:

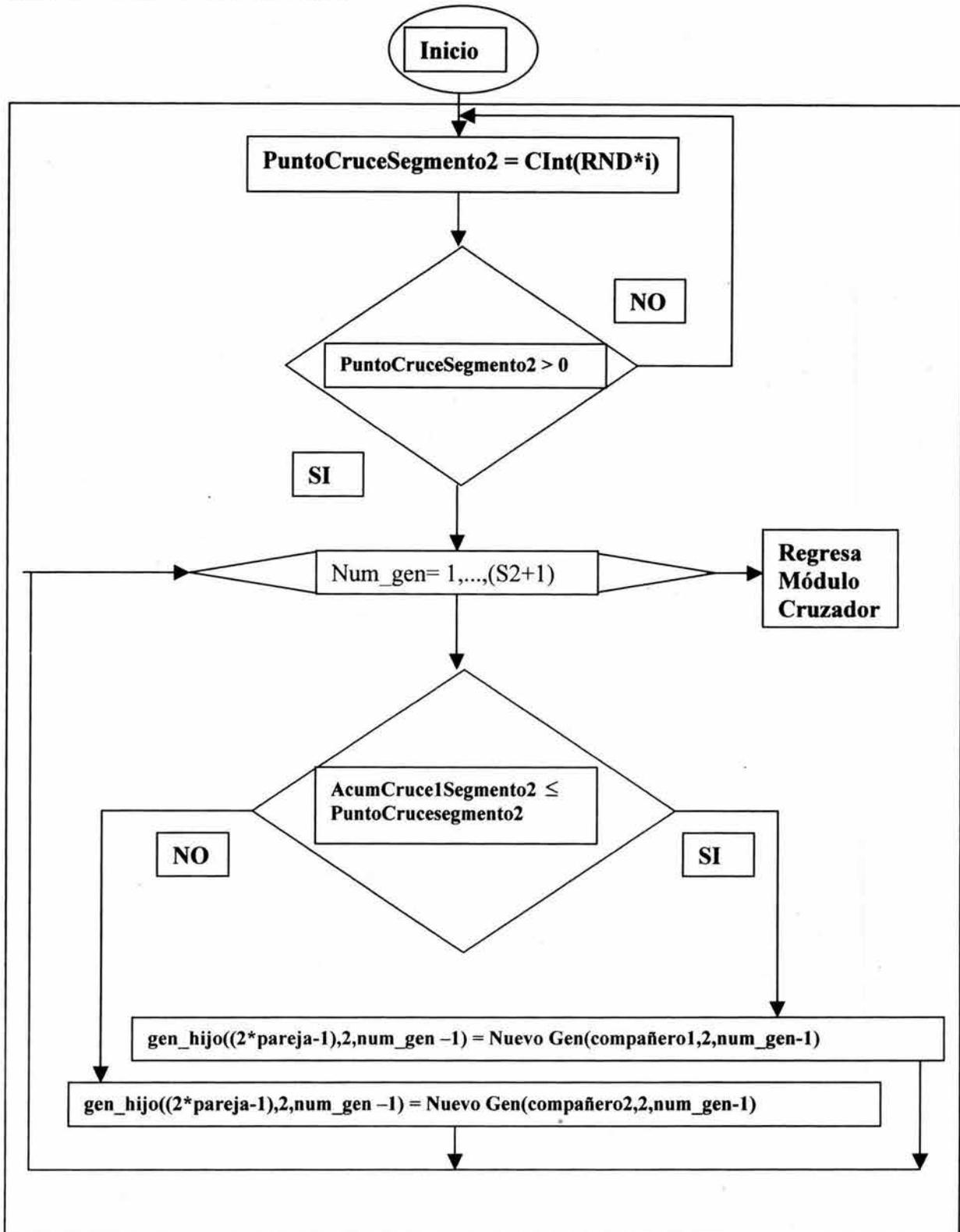


Figura 5.15 Submódulo FORMADOR_HIJOS para cada pareja

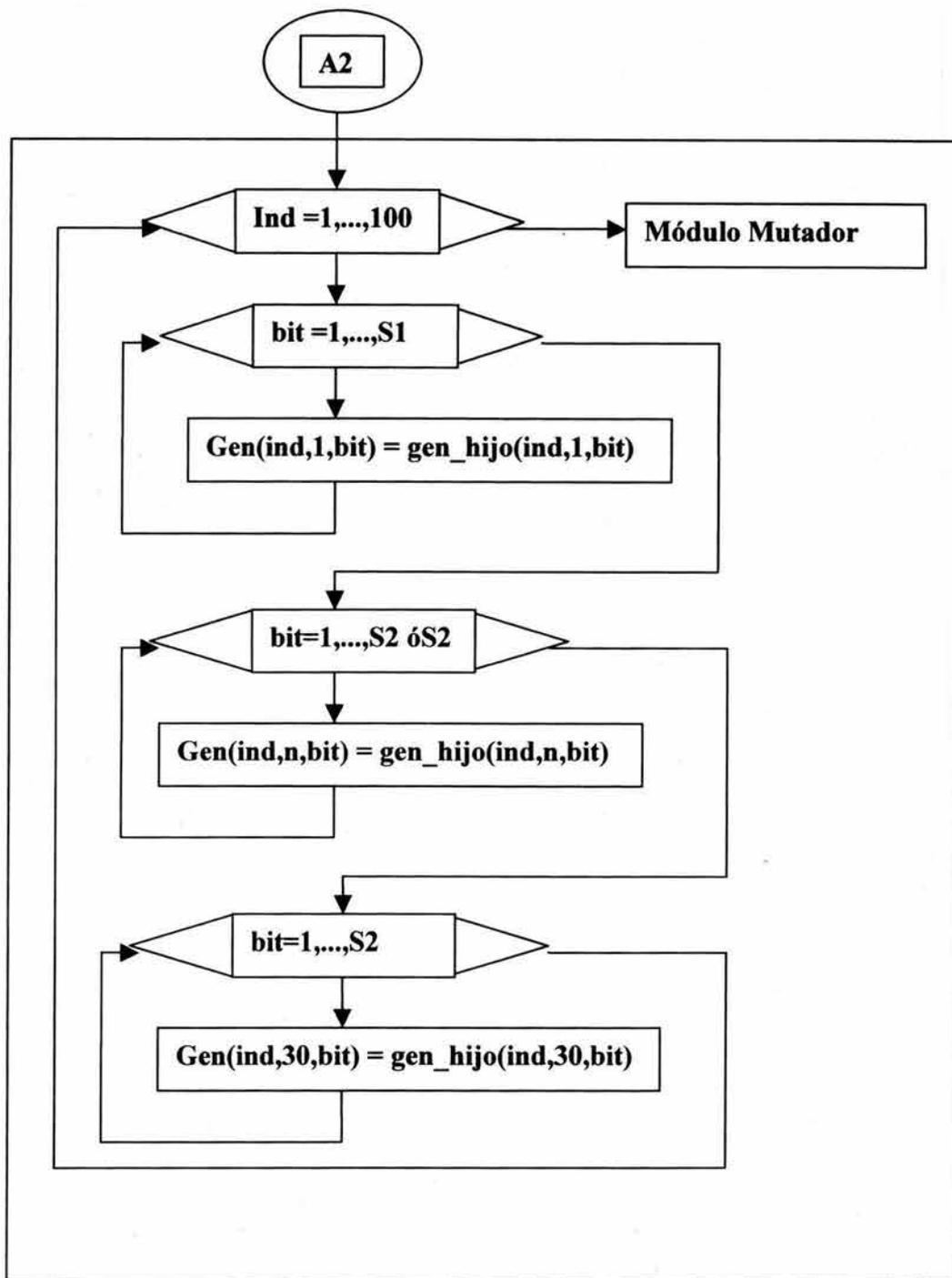


Figura 5.16 Submódulo NUEVA_POBLACIÓN_CRUZADOR para la sustitución generacional

5.5.7 Módulo Mutador

Este módulo se utiliza para mutar uno o varios individuos de la población a través de un factor mutante. Mediante la mutación se modifica, al menos, un gen de, al menos, un individuo. La modificación surge al cambiar el valor de un gen, si es 1 cambiarlo por 0 y viceversa. La mutación está plenamente justificada, ya que previene la pérdida de diversidad genética. Pero la mutación no debe ser muy grande, ya que la generación no superará su calificación o aptitud para encontrar la solución, lo que implicará que la evolución oscile entre generaciones subóptimas. Se realizará la mutación con un factor mutante de 1 gen por cada 1000 genes transferidos. La ecuación que emplea el módulo **MUTADOR** para cambiar el número de genes del total de la población es la 5.7:

$$\text{Bits_mutados_prob} = \text{ENTERO} [(1/100) * (\text{Factor mutante } \%) * (\text{Genes por Individuo}) * (\text{Número Individuos})]$$

(5.7)

La forma en que se relacionan los otros módulos y el módulo **MUTADOR** se muestra en la siguiente Figura 5.17, y en la figura 5.18 se presenta el esquema de la estructura del proceso de mutación.

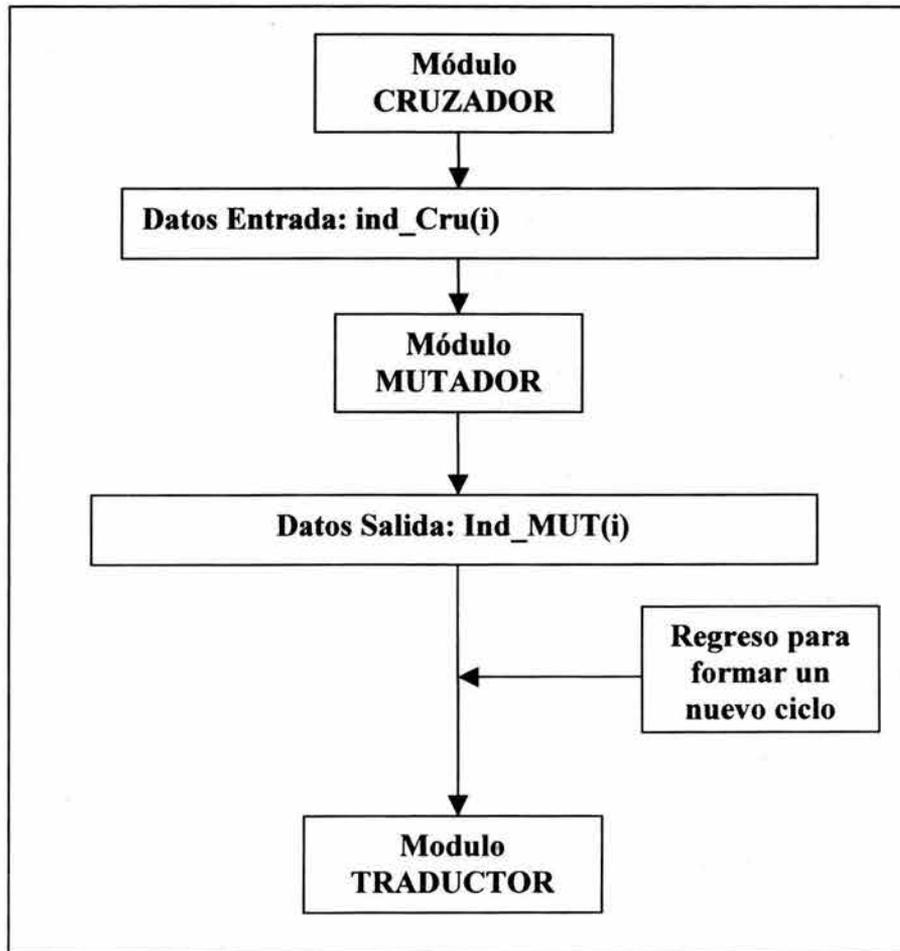


Figura 5.17 Módulo MUTADOR y su relación con otros módulos

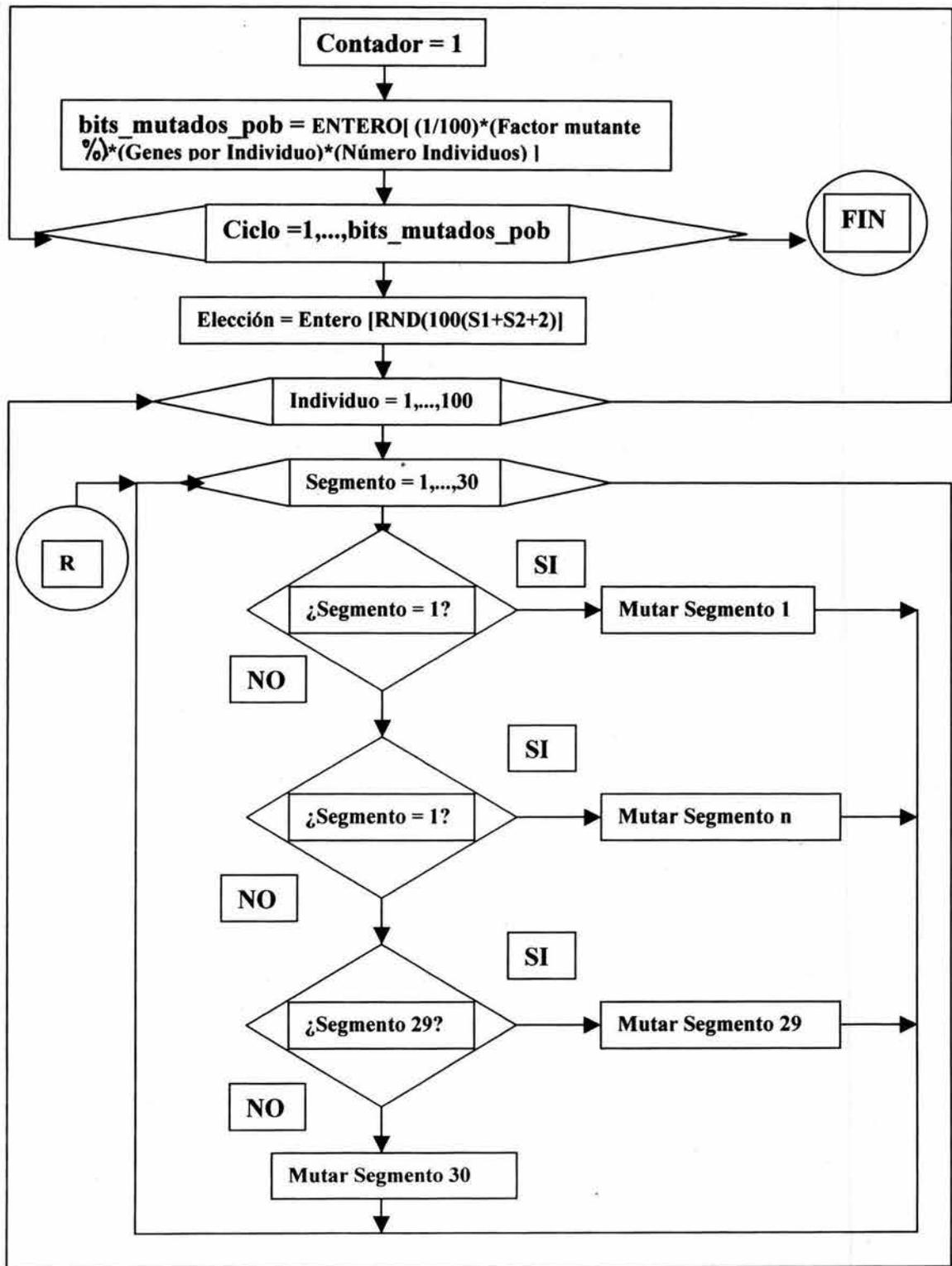


Figura 5.18.A Módulo MUTADOR y su estructura

Por ejemplo, para mutar el segmento 1:

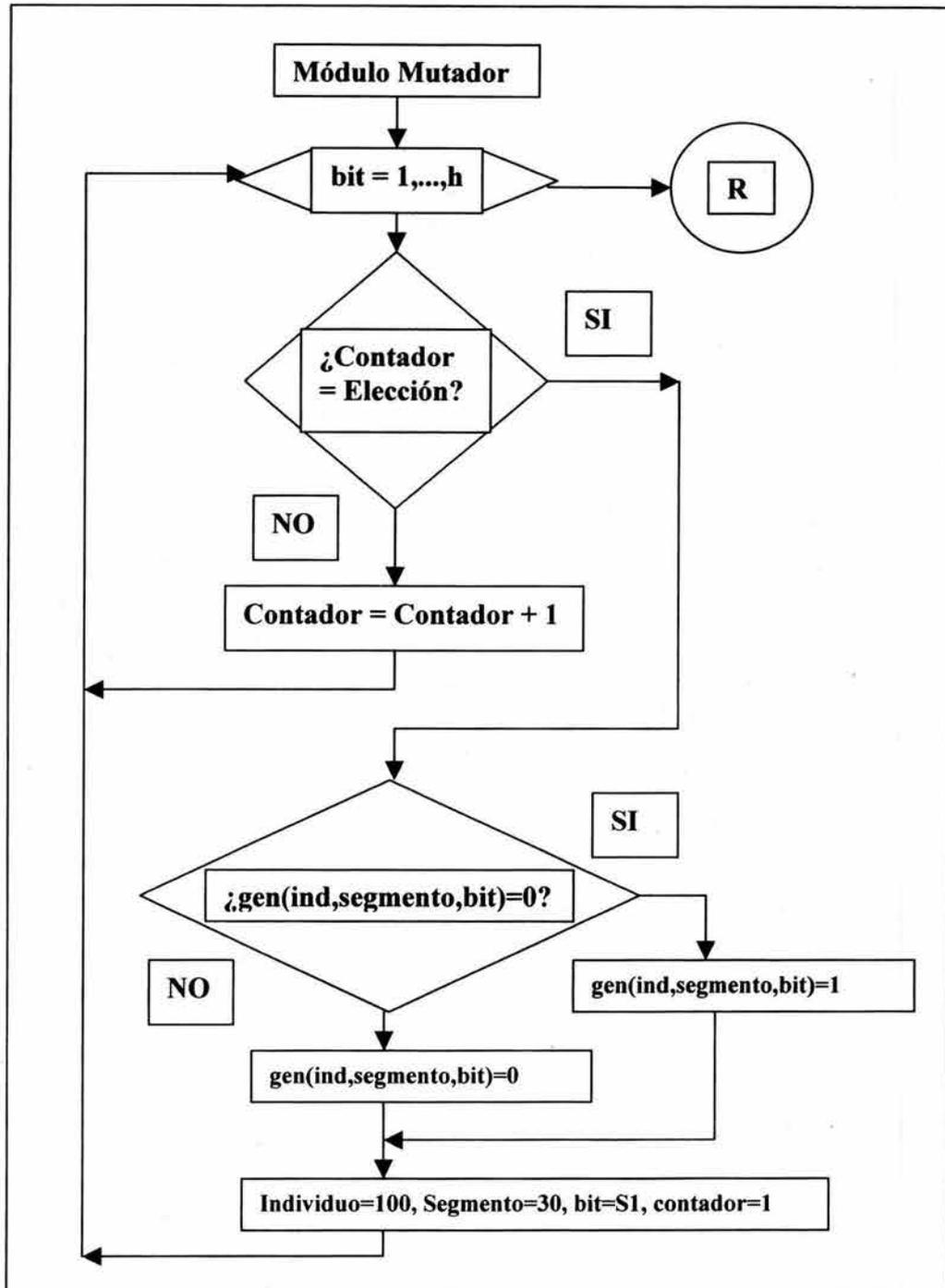


Figura 5.18.B Ejemplo de un Segmento Mutado

Conclusiones

PRIMERA. El algoritmo genético que se ha desarrollado en este capítulo se fundamenta en la teoría del portafolio y en todas sus ecuaciones, así como en parámetros estadísticos.

SEGUNDA. Mediante la programación se implementa este algoritmo y se simula varias veces para determinar la solución óptima. En este caso la solución óptima es aquel individuo (portafolio de inversión) que sea el mejor de toda la última generación creada por el algoritmo genético.

TERCERA. La solución óptima encontrada al implementar el algoritmo genético no es la solución óptima real, sino únicamente una muy buena aproximación a esta solución óptima real.

CAPÍTULO 6

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Introducción

El presente capítulo presenta los resultados de las simulaciones llevadas a cabo. Estos resultados presentan los portafolios de inversión óptimos que se obtuvieron mediante la implementación de algoritmo genético desarrollado.

También se analizan los resultados para determinar cual es el portafolio más óptimo, cuales son las acciones mas convenientes para invertir y en que proporción.

SIMULACIÓN, ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Simulación

Los datos que se utilizan durante la simulación corresponden al mes de octubre del año 2002, la información se obtuvo de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV). En la tabla 6.1 se presentan los datos utilizados para simular.

| INDICADOR DEL MERCADO IPC INDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES | RENDIMIENTO PROMEDIO | VARIANZA DEL RENDIMIENTO (Sm ²) | | | |
|--|----------------------|---|-----------------------|-----------|-----------------------------|
| | -0.00174375 | 0.024733377 | | | |
| NOMBRE ACCIÓN | RENDIMIENTO PROMEDIO | VARIANZA DEL RENDIMIENTO (Sm ²) | COEFICIENTES BETA (i) | ALFA (i) | IDENTIFICACIÓN DE LA ACCIÓN |
| TEKCHEM A | -0.0025 | 0.047806555 | -5.73702 | -0.012504 | 1 |
| KIMER B | 0.00125 | 0.237371018 | 0.52844 | 0.002171 | 2 |
| AHMSA | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| SIMEC B | -0.006875 | 0.020886599 | -1.9426 | -0.010262 | 4 |
| TAMSA | 0.034375 | 0.344595778 | 2.11016 | 0.038055 | 5 |
| IEM A | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| ARCA | 0.083125 | 0.449336084 | 0.06442 | 0.083237 | 7 |
| BIMBO A | 0.048125 | 0.245199749 | -0.00396 | 0.048118 | 8 |
| CONTAL | -0.1325 | 0.281033806 | 0.0498 | -0.132413 | 9 |
| FEMSA UB | -0.03125 | 0.125 | -0.0066 | -0.031262 | 10 |
| GEUPEC B | 0.03125 | 0.125 | 0.00661 | 0.031262 | 11 |
| GMACMA L | -0.115625 | 0.4625 | -2.36182 | -0.119743 | 12 |
| GMODERN | -0.03125 | 0.125 | -0.0066 | -0.031262 | 13 |
| GRUMA B | -0.00625 | 0.055121079 | 0.12503 | -0.006032 | 14 |
| HERDEZ | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| MASECA B | 0.00625 | 0.074464757 | -1.89389 | 0.002948 | 16 |
| MINSA C | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| NUTRISA | -0.015625 | 0.0625 | -0.0033 | -0.015631 | 18 |
| PEPSIGX CPO | 0.028125 | 0.067942991 | -1.94336 | 0.024736 | 19 |
| SAVIA A | 0.0025 | 0.31856972 | -0.05533 | 0.002404 | 20 |
| VALLE B | -0.0125 | 0.700290416 | -1.38315 | -0.014912 | 21 |
| HILASA A | 0.014375 | 0.045893899 | 1.49977 | 0.01699 | 22 |
| CONVER B | 0 | 0.015055453 | 1.19413 | 0.002082 | 23 |
| VITRO A | -0.040625 | 0.247587527 | 1.60931 | -0.037819 | 24 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-------------|----------|-----------|----|
| DIXON | -0.000625 | 0.0025 | 0.00057 | -0.000624 | 25 |
| GMD B | -0.015 | 0.06 | 0.47044 | -0.01418 | 26 |
| ICA | 0.00125 | 0.073291655 | -0.01906 | 0.001217 | 27 |
| APASCO | 0.125 | 0.472835419 | 0.09876 | 0.125172 | 28 |
| CEMEX A | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 |
| CEMEX CPO | -0.065 | 1.206924466 | 0.01247 | -0.064978 | 30 |
| ARA | 0.055 | 0.343142342 | -0.05731 | 0.0549 | 31 |
| HOGER B | -0.01125 | 0.072743843 | -0.00242 | -0.011254 | 32 |
| AMALCO | 0 | 0.003651484 | -5E-07 | -8.67E-10 | 33 |
| ALSEA | -0.003125 | 0.037897889 | 0.01531 | -0.003098 | 34 |
| BEVIDES B | 0 | 0.073029674 | 3.39622 | 0.005922 | 35 |
| COMERCI UBC | 0 | 0.155349069 | 0.48912 | 0.000853 | 36 |
| DATAFLX B | -0.0013125 | 0.070763191 | 0.06726 | -0.001195 | 37 |
| DERMET B | -0.0025 | 0.01 | -0.00053 | -0.002501 | 38 |
| EDOARDO B | 0.015625 | 0.0625 | -0.94616 | 0.013975 | 39 |
| ELEKTRA | 0.3425 | 0.355687128 | -3.34395 | 0.336669 | 40 |
| FRAGUA B | -0.01875 | 0.054390563 | -0.00396 | -0.018757 | 41 |
| GCORVI UBL | 0.01375 | 10.95823883 | -0.00838 | 0.013735 | 42 |
| LIVERPOL 1 | 0.078125 | 0.225247087 | -1.05669 | 0.076282 | 43 |
| LIVERPOL C-1 | 0.028125 | 35.49278109 | 0.00595 | 0.028135 | 44 |
| NADRO B | 0.0125 | 0.086909915 | 0.00264 | 0.012505 | 45 |
| SAP | -0.01875 | 0.260201845 | 0.91887 | -0.017148 | 46 |
| WALMEX C | -0.023125 | 0.293182963 | -0.05305 | -0.023218 | 47 |
| WALMEX V | 0.040625 | 0.870888196 | 0.12202 | 0.040838 | 48 |
| CINTRA A | 0.0025 | 0.007745967 | 0.16225 | 0.002783 | 49 |
| CABLE CPO | 0 | 0.036514837 | 0.04043 | 7.05E-05 | 50 |
| MOVILA B | -0.003625 | 0.0145 | 4.03266 | 0.003407 | 51 |
| TELECOM A1 | 0.024375 | 0.277439933 | 1.62101 | 0.027202 | 52 |
| TELMEX A | 0.0375 | 0.201643249 | -0.01913 | 0.037467 | 53 |
| TVAZTCA CPO | 0.014375 | 2.955293485 | -1.37655 | 0.011975 | 54 |
| CIDMEGA | -0.00625 | 0.027294688 | -0.1387 | -0.006492 | 55 |
| CMR B | 0.00625 | 0.017078251 | -0.0022 | 0.006246 | 56 |
| MEDICA B | 0.04375 | 0.131497782 | 0.00926 | 0.043766 | 57 |
| MEDICA L | 0.025 | 0.057735027 | -0.09579 | 0.024833 | 58 |
| POSADAS A | -0.028125 | 0.129059095 | -0.11966 | -0.028334 | 59 |
| POSADAS L | -0.015625 | 0.0625 | 0.02832 | -0.015576 | 60 |

Tabla 6.1 Datos empleados en la simulación.

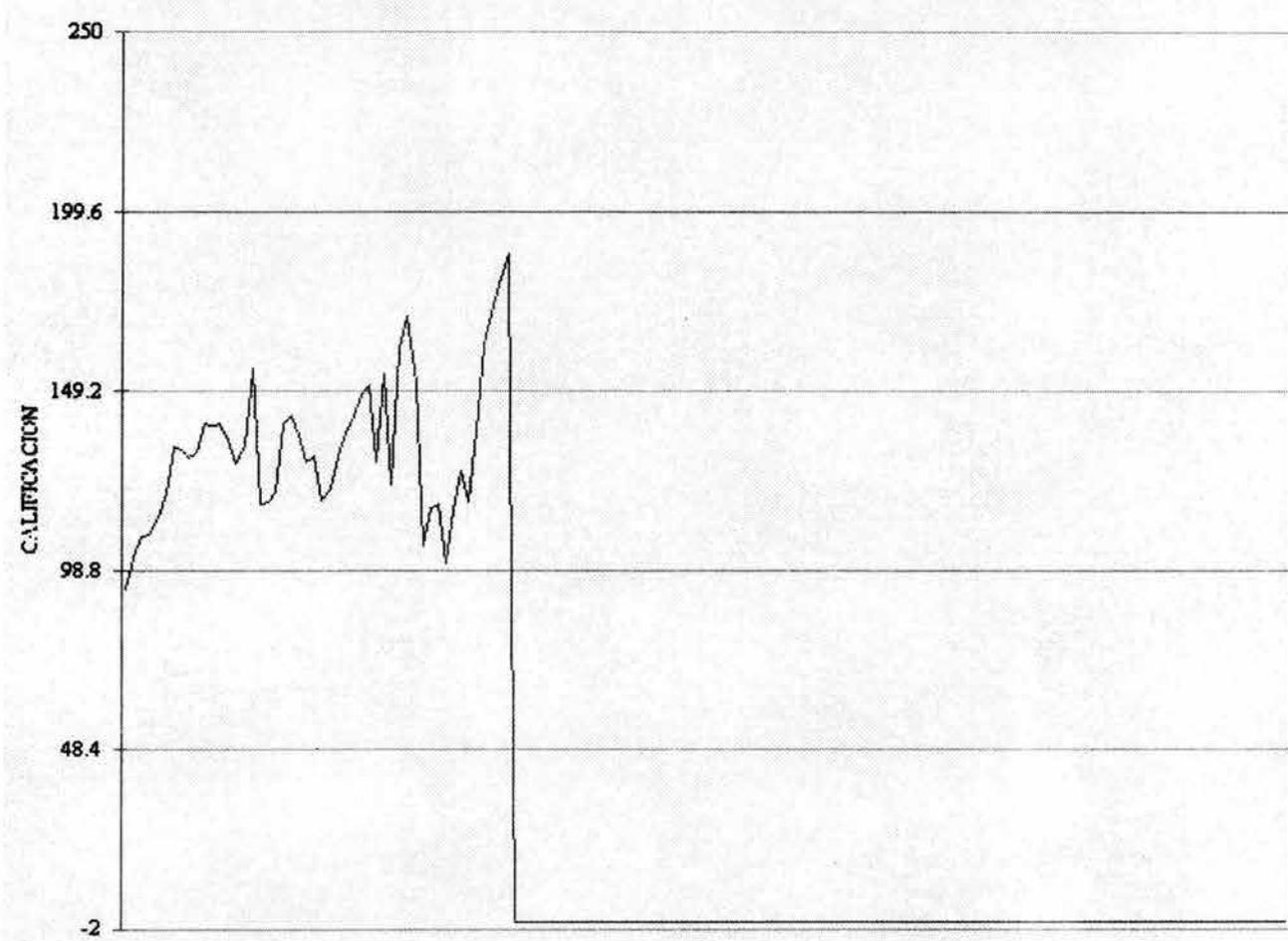
Los resultados generados por la simulación (octubre 2002) se presenta a continuación, las graficas(6.1 a 6.10) corresponden a la calificación obtenida en cada generación sucesiva. En cada tabla (6.2 a 6.11)se presenta el mejor individuo de todos o portafolio (mas eficientes y menos riesgosos). Se realizaron 10 simulaciones.

1ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 100 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 187.8 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 97 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 5.18E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -18.92957 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| BEVIDES B | 35 | 14 |
| TELMEX A | 53 | 3 |
| ALSEA | 34 | 5 |
| CIDMEGA | 55 | 2 |
| TVAZTCA CPO | 54 | 2 |
| LIVERPOOL 1 | 43 | 10 |
| VEBIDES B | 35 | 3 |
| MEDICA L | 58 | 3 |
| EDOARDO B | 39 | 3 |
| AHMSA | 3 | 2 |
| LIVERPOOL C1 | 44 | 4 |
| BEVIDES B | 35 | 14 |
| TAMSA | 5 | 9 |
| ELEKTRA | 40 | 12 |
| TEKCHEM A | 1 | 14 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.2



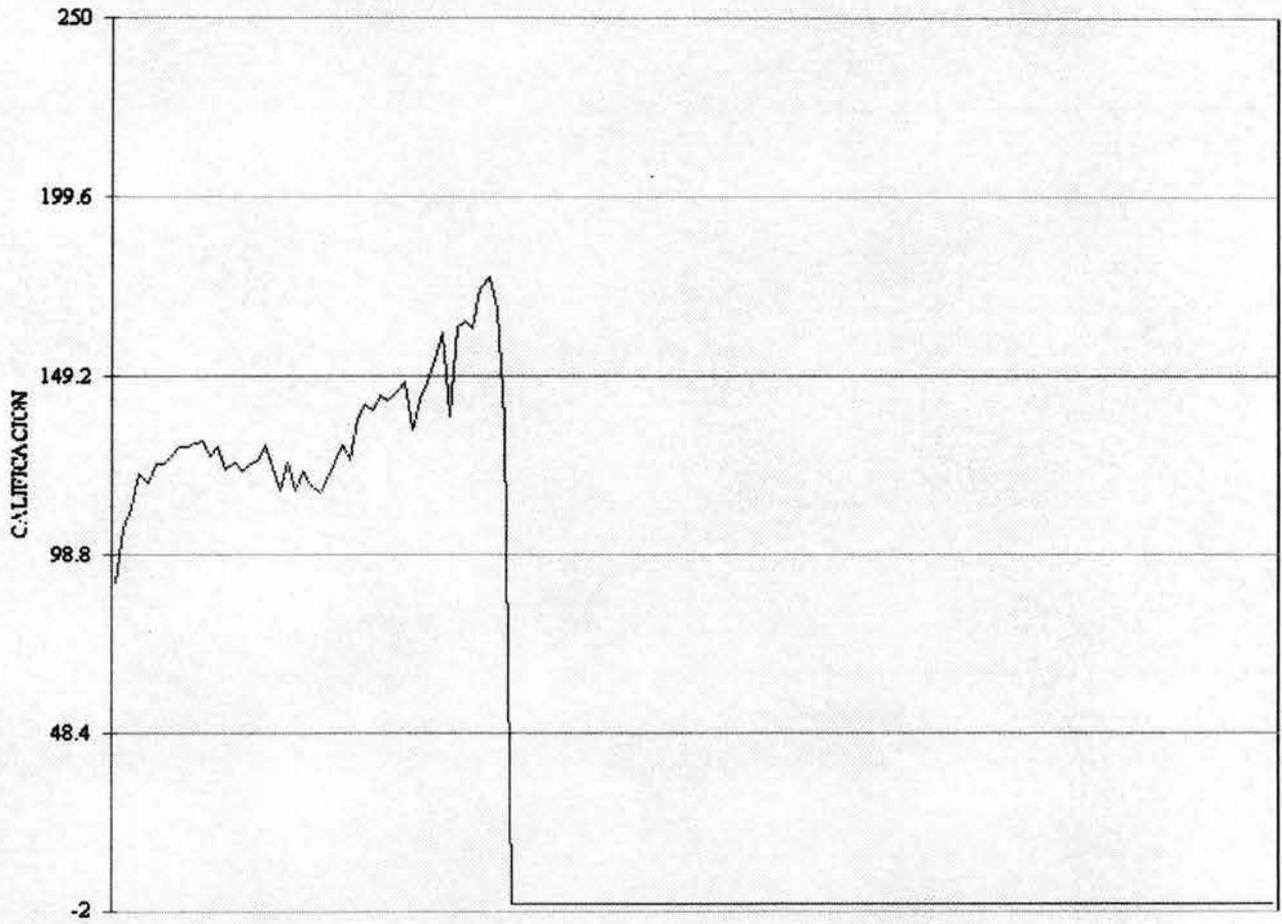
Gráfica 6.1 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

2ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 100 |
| GENERACIÓN | 51 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 136.3001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 7.83E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -12.58446 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | | |
| BEVIDES B | 45 | 5 |
| BIMBO A | 8 | 3 |
| TELMEX A | 53 | 3 |
| ELEKTRA | 40 | 21 |
| FEMSA UB | 10 | 7 |
| CONVER B | 23 | 10 |
| TAMSA | 5 | 21 |
| GRUMA B | 14 | 3 |
| HILASA A | 22 | 1 |
| PEPSIGX CPO | 19 | 7 |
| FEMSA UB | 10 | 1 |
| BIMBO A | 8 | 9 |
| EDOARDO B | 39 | 4 |
| NUTRISA | 18 | 4 |
| CONER B | 23 | 1 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.3



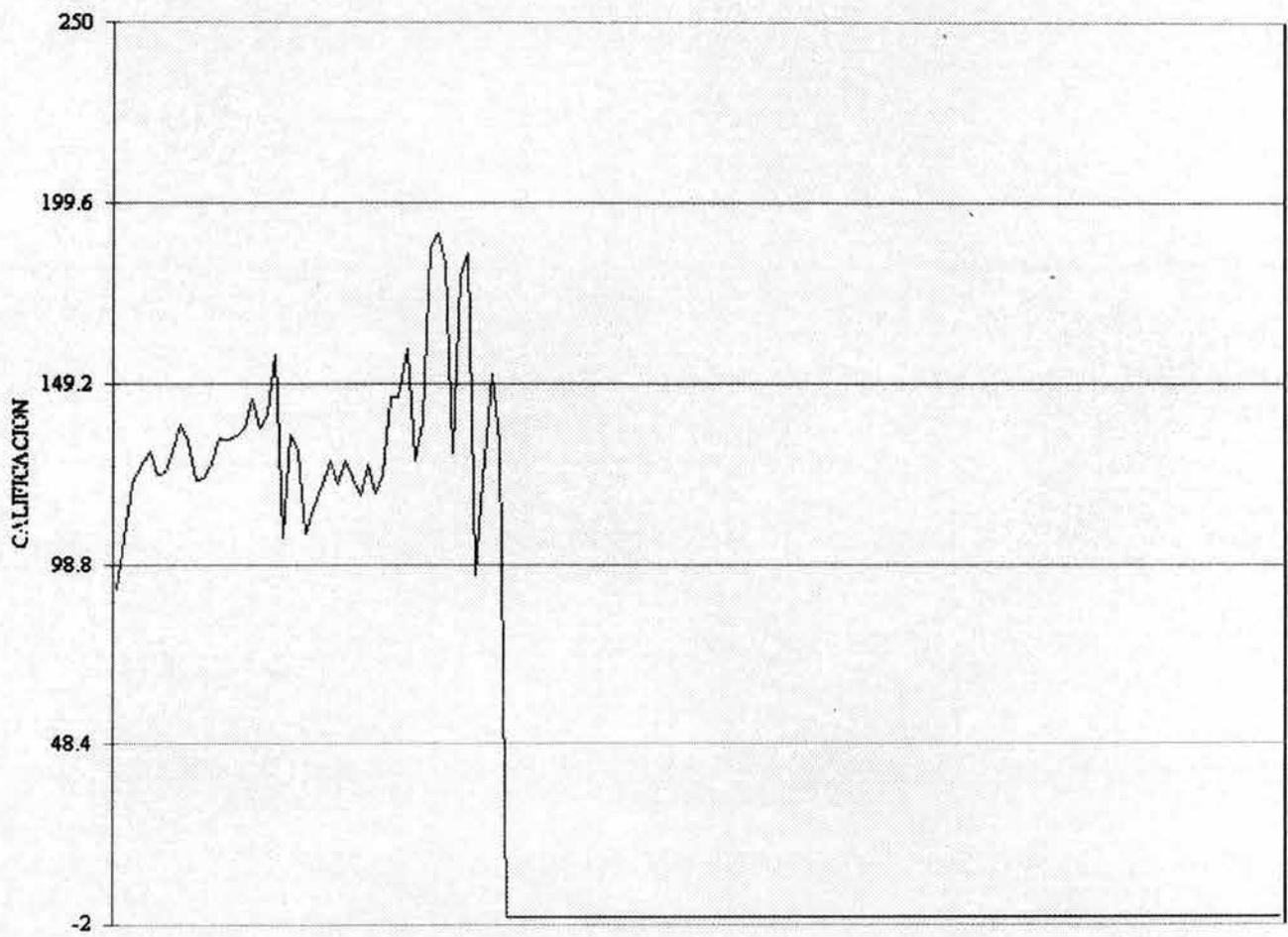
Gráfica 6.2 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

3ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99994 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 132.4001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 6.81E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -12.1111 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| CIDMEGA | 55 | 2 |
| TELMEX A | 53 | 2 |
| NADRO B | 45 | 7 |
| BEVIDES B | 35 | 16 |
| MEDICA L | 58 | 3 |
| LIVERPOOL 1 | 43 | 3 |
| ARCA | 7 | 9 |
| GCORVI UBL | 42 | 2 |
| EDOARDO B | 39 | 10 |
| CABLE CPO | 50 | 9 |
| ELEKTRA | 40 | 17 |
| TEKCHEM A | 1 | 4 |
| ARCA | 7 | 2 |
| DERMET B | 38 | 10 |
| MOVILA B | 51 | 4 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.4



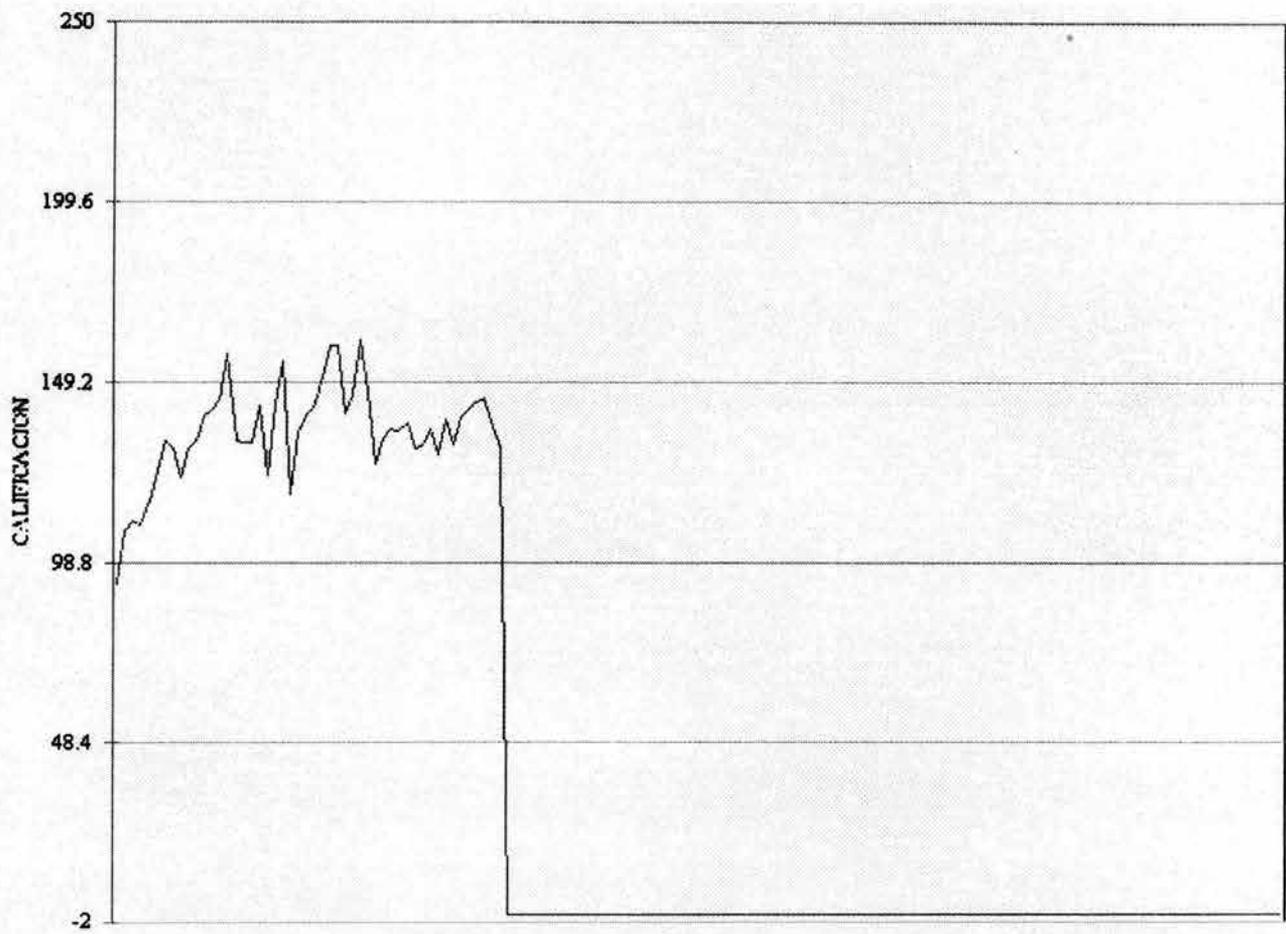
Gráfica 6.3 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

4ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99998 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 130.7 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 97 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 7.33E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -10.0003 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| KIMBER A | 2 | 3 |
| TELMEX A | 53 | 6 |
| DERMET B | 38 | 9 |
| CIDMEGA | 55 | 3 |
| TELMEX A | 53 | 3 |
| CEMX CPO | 30 | 6 |
| GCORVI UBL | 42 | 4 |
| MEDICA L | 58 | 10 |
| MEDICA L | 58 | 4 |
| ARCA | 7 | 6 |
| LIVERPOOL 1 | 43 | 6 |
| COMERCI UBC | 36 | 9 |
| LIVERPOOL 1 | 43 | 3 |
| ELEKTRA | 40 | 22 |
| ARA | 31 | 6 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.5



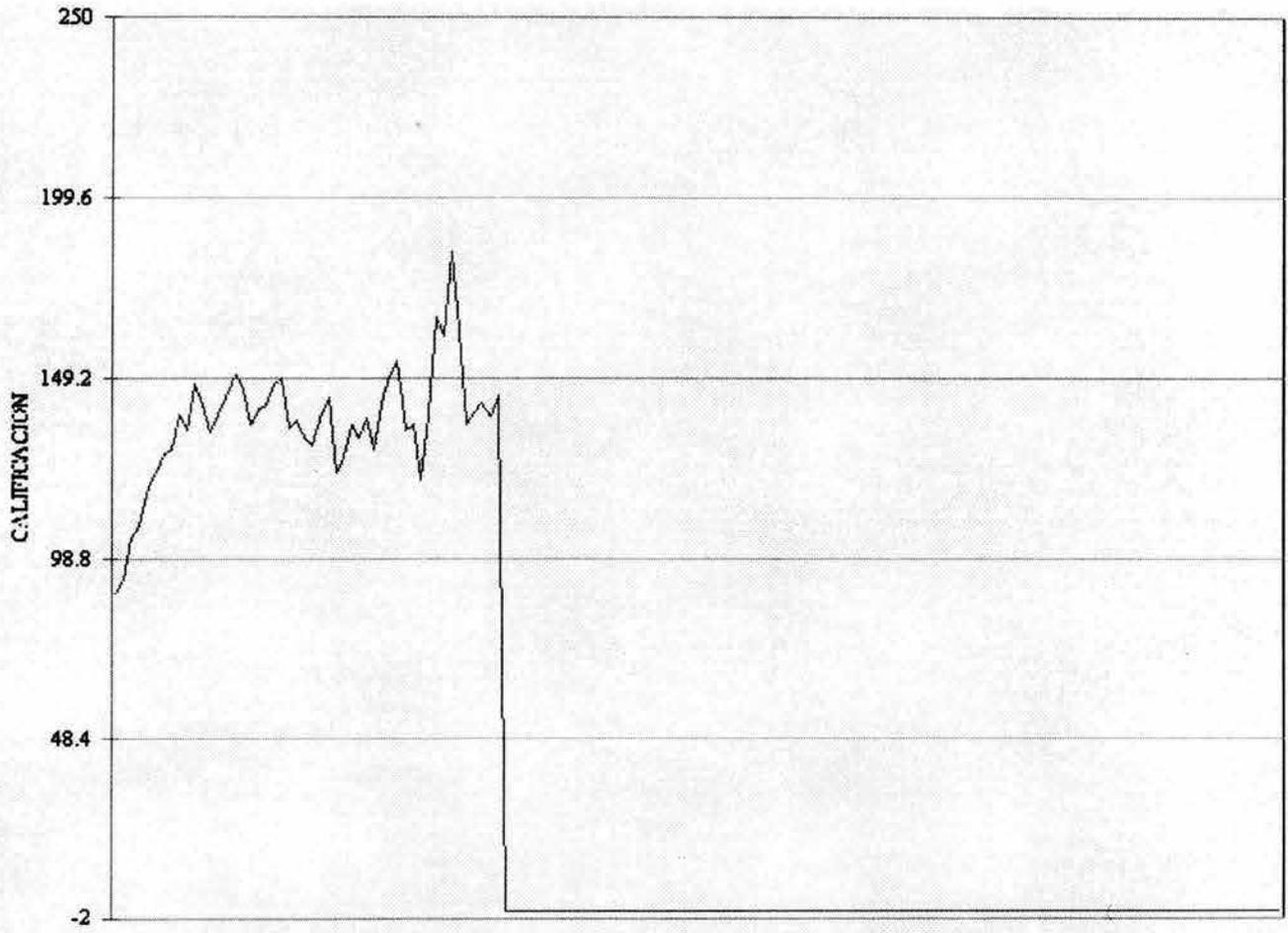
Gráfica 6.4 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

5ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 100 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 144.3001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 93 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 6.91E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -8.583089 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| BIMBO A | 8 | 5 |
| TELMEX A | 53 | 8 |
| ELEKTRA | 40 | 18 |
| FEMSA UB | 10 | 6 |
| CONVER A | 23 | 5 |
| TAMSA | 5 | 18 |
| GRUMA B | 14 | 8 |
| HILSA A | 22 | 1 |
| PEPSIGX CPO | 19 | 15 |
| FEMSA UB | 10 | 1 |
| ARCA | 7 | 2 |
| CMR B | 56 | 1 |
| AHMSA | 3 | 2 |
| CONVER B | 23 | 1 |
| WALMEX V | 48 | 9 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.6



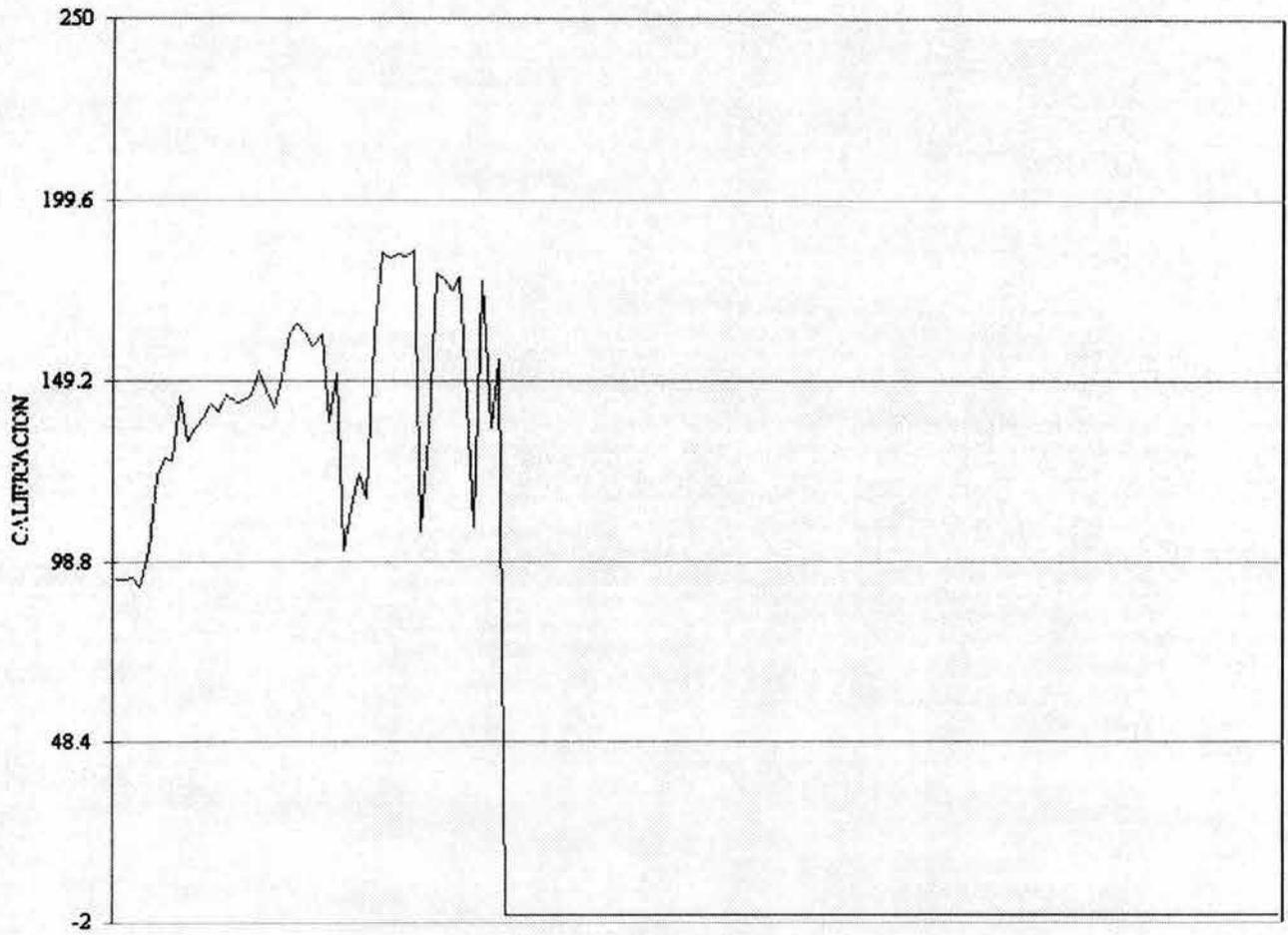
Gráfica 6.5 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

6ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99993 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 155.20001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 89 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 1.08E-01 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -13.00711 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| CMR B | 56 | 5 |
| ELEKTRA | 40 | 13 |
| FEMSA UB | 10 | 5 |
| TELMEX A | 53 | 3 |
| MOVILA B | 51 | 4 |
| TELECOM A1 | 52 | 7 |
| GEUPEC B | 11 | 4 |
| GCORVI UBL | 42 | 1 |
| HOGER B | 32 | 5 |
| MEDICA L | 58 | 1 |
| ARCA | 7 | 10 |
| HOGER B | 32 | 6 |
| MOVILA B | 51 | 14 |
| APASCO | 28 | 8 |
| ELEKTRA | 40 | 14 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.7



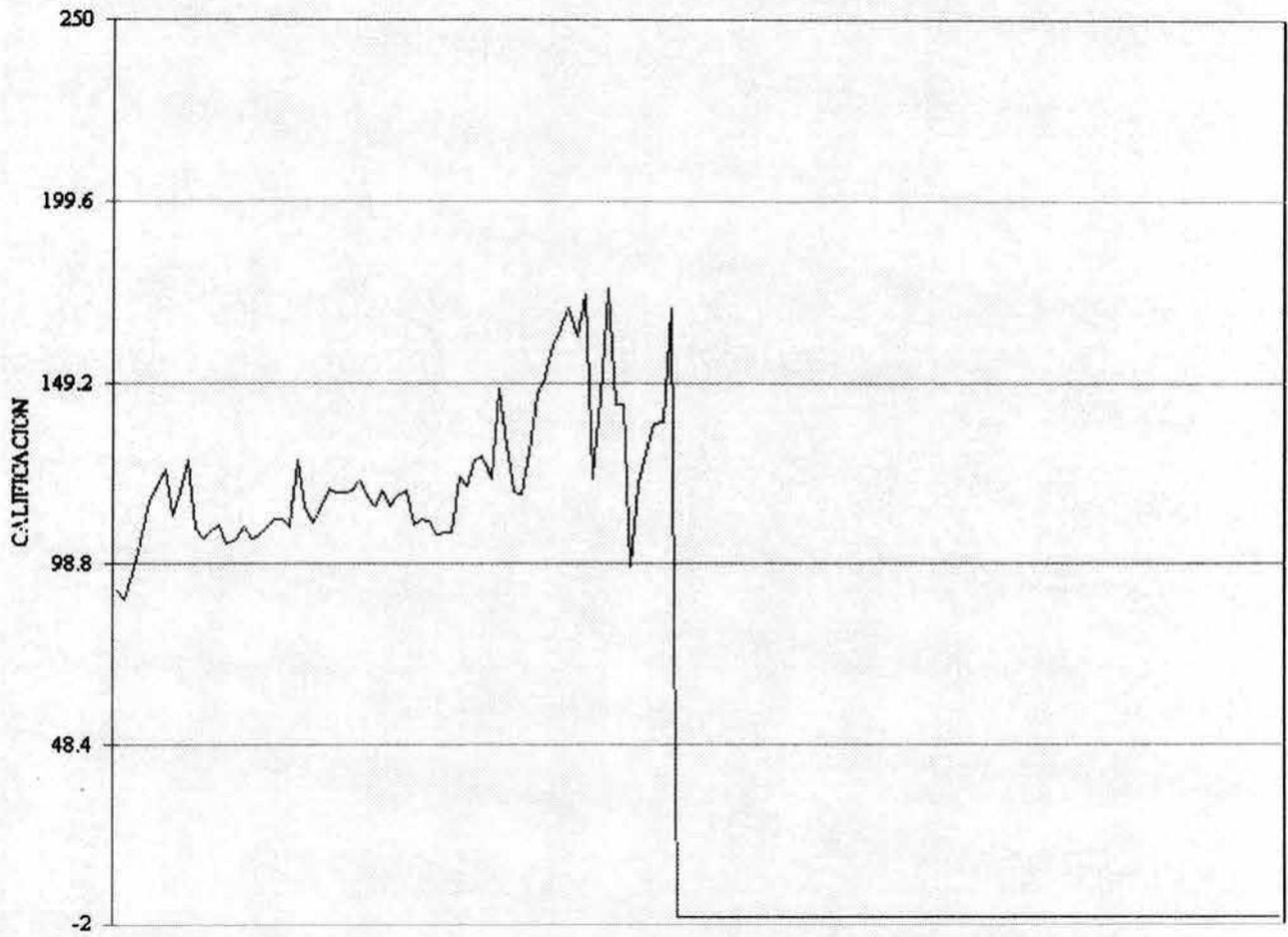
Gráfica 6.6 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

7ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99995 |
| GENERACIÓN | 72 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 169.9 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 97 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 1.10E-01 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -6.861084 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| ELEKTRA | 40 | 11 |
| PEPSIGX CPO | 19 | 2 |
| DERMET B | 38 | 2 |
| CEMEX A | 29 | 8 |
| ELEKTRA | 40 | 7 |
| TELECOM A1 | 52 | 4 |
| ELEKTRA | 40 | 7 |
| LIVERPOOL 1 | 43 | 1 |
| ALSEA | 34 | 7 |
| WALMEX C | 47 | 2 |
| ELEKTRA | 40 | 15 |
| GMODERN | 13 | 8 |
| CONVER B | 23 | 11 |
| CMR B | 56 | 3 |
| TELMEX A | 53 | 12 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.8



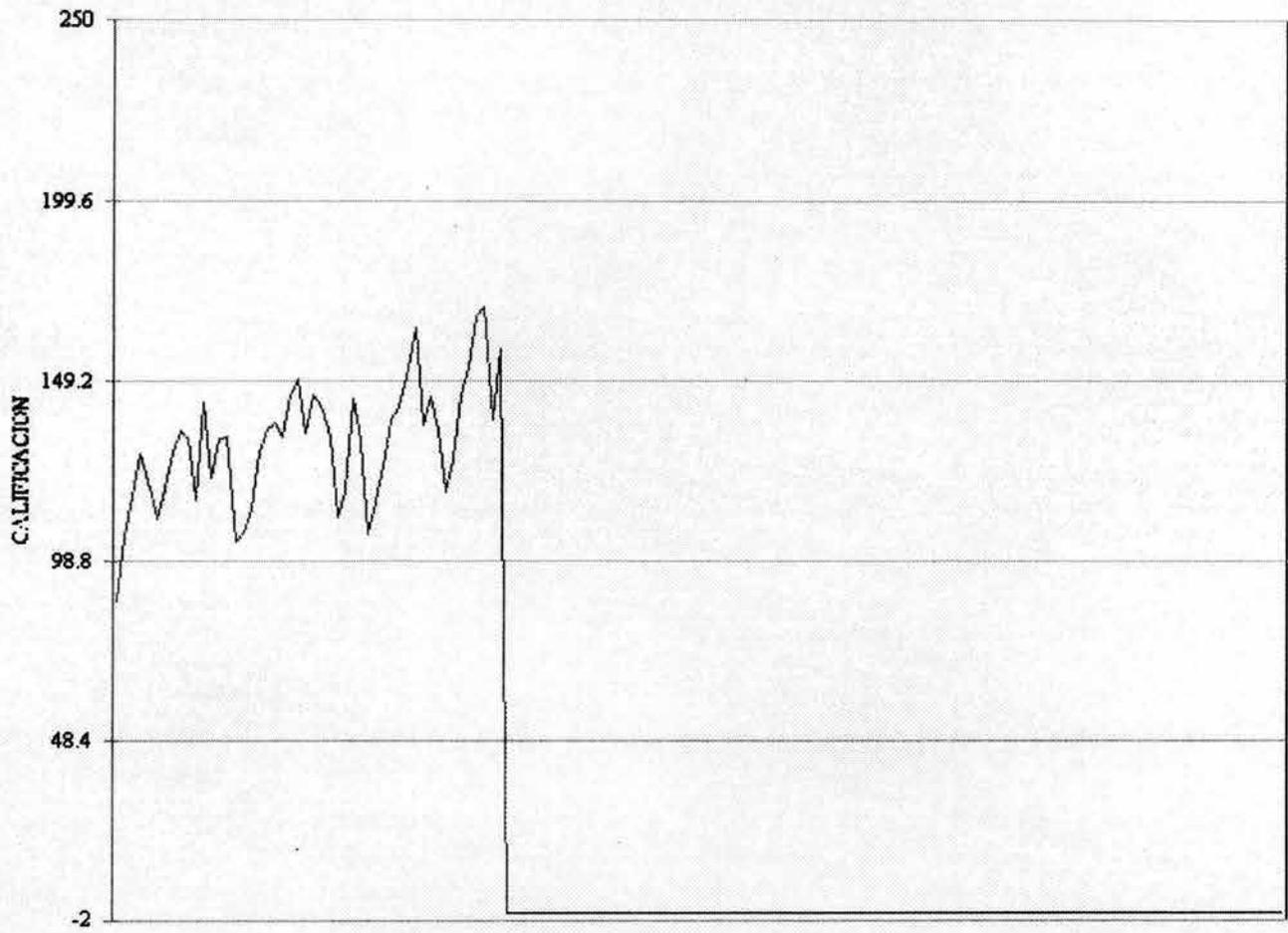
Gráfica 6.7 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

8ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99992 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 158.6001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 1.12E-01 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -18.61208 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | | |
| BIMBO A | 8 | 12 |
| TELMEX A | 53 | 3 |
| ELEKTRA | 40 | 20 |
| GEUPEC B | 11 | 3 |
| CONVER B | 23 | 4 |
| BEVIDES B | 35 | 20 |
| GRUMA B | 14 | 13 |
| HILASA A | 22 | 1 |
| PEPSIGX CPO | 19 | 1 |
| ELEKTRA | 40 | 12 |
| ARCA | 7 | 3 |
| TVAZTCA CPO | 54 | 1 |
| AMALCO | 33 | 3 |
| APASCO | 28 | 3 |
| SAP | 46 | 1 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.9



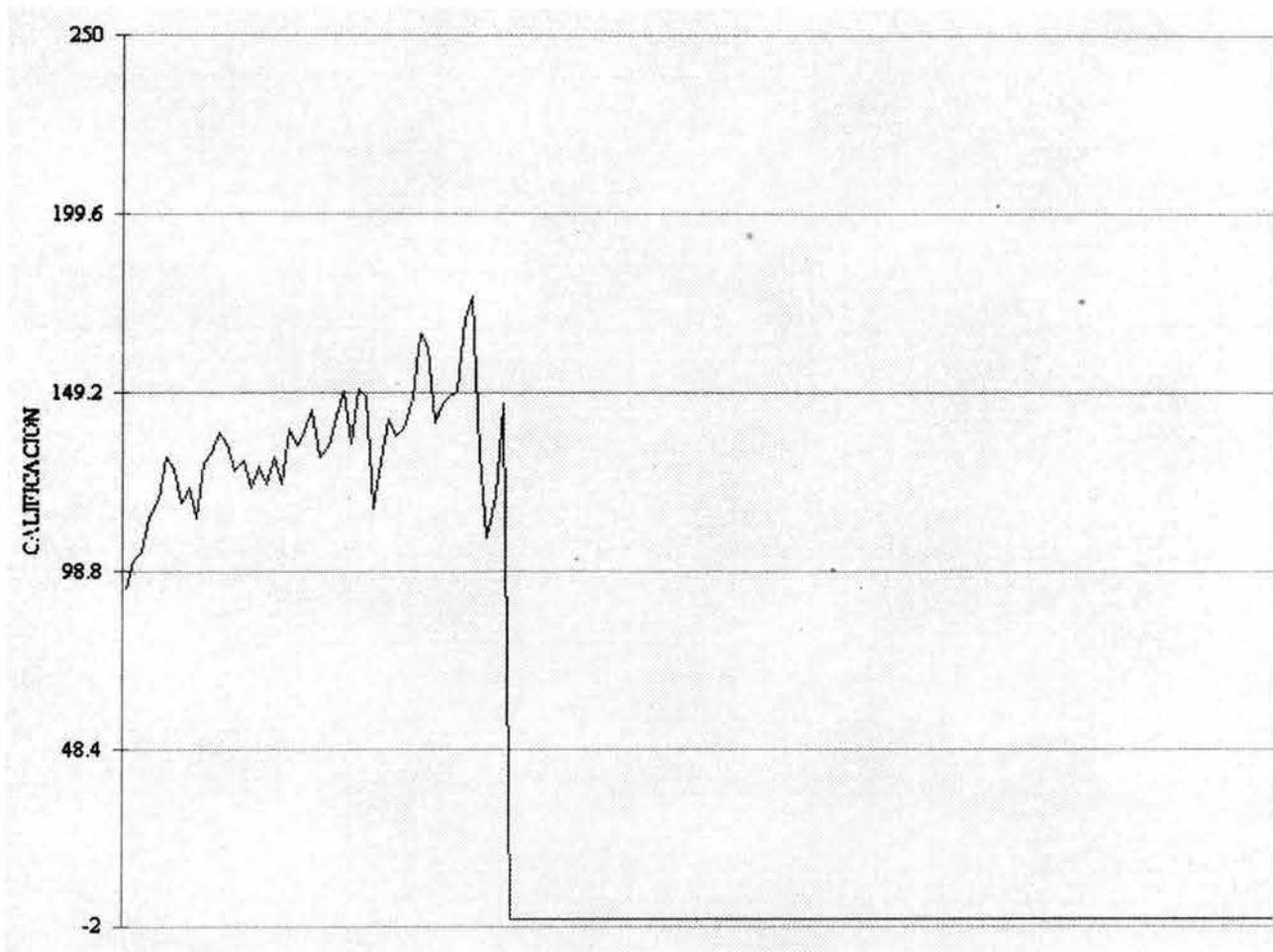
Gráfica 6.8 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

9ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99995 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 146.1001 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 88 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 9.57E-02 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -12.96543 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| LIVERPOOL C1 | 44 | 3 |
| GCORVI UBL | 42 | 5 |
| CABLE CPO | 50 | 1 |
| ELEKTRA | 40 | 22 |
| ARCA | 7 | 7 |
| DATAFXL B | 37 | 3 |
| POSADAS L | 60 | 16 |
| CEMEX CPO | 30 | 3 |
| APASCO | 28 | 12 |
| TAMSA | 5 | 21 |
| FRAGUA B | 41 | 1 |
| CINTRA A | 49 | 3 |
| GRUMA B | 14 | 1 |
| CMR B | 56 | 1 |
| CONVER B | 23 | 1 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.10



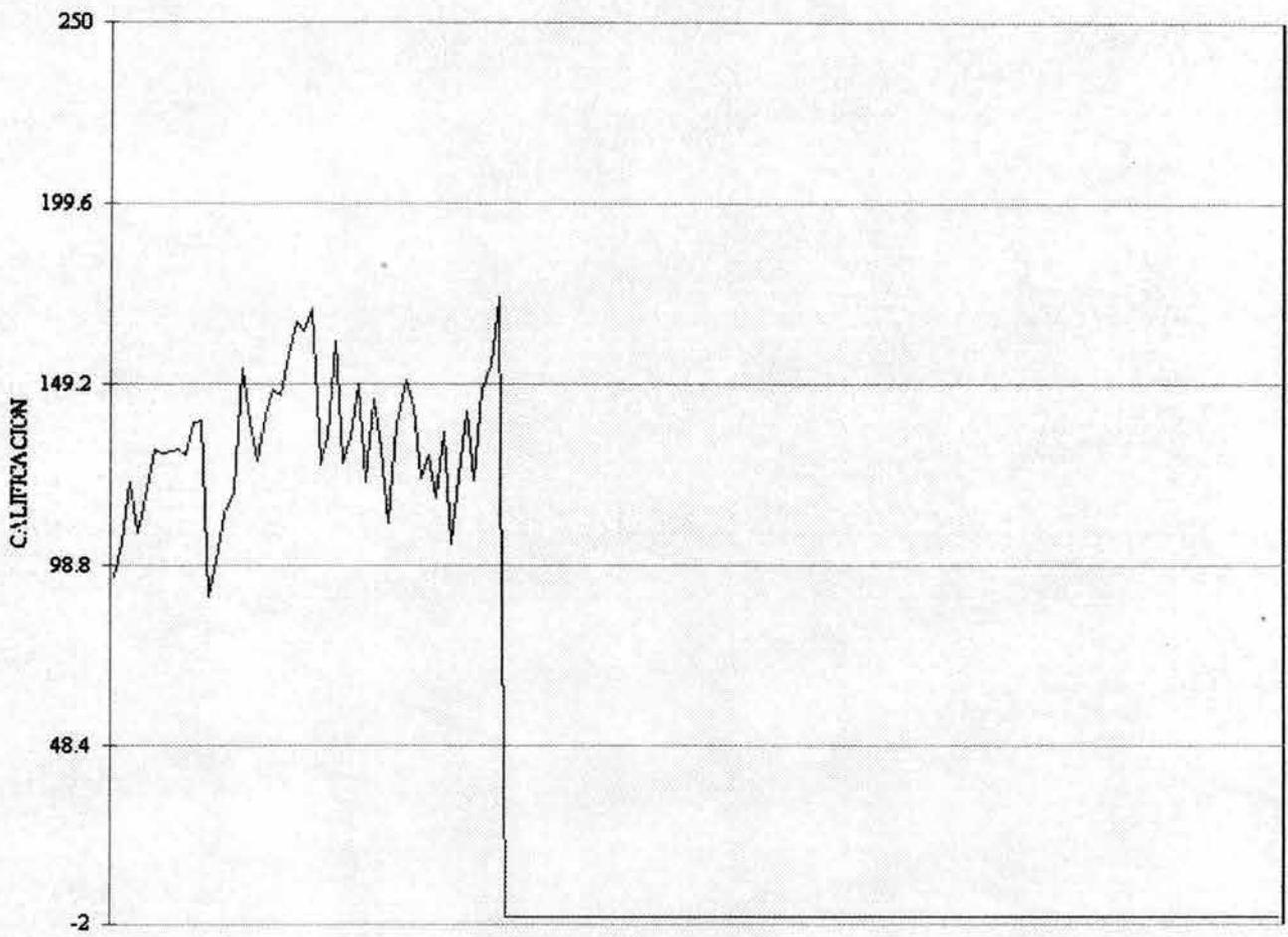
Gráfica 6.9 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

10ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|------------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 100 |
| GENERACIÓN | 50 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 174.1 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 1.00E-01 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | -14.90838 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| AHMSA | 3 | 1 |
| CONTAL | 9 | 7 |
| GMD B | 26 | 4 |
| GCORVI UBL | 42 | 1 |
| WALMEX C | 47 | 3 |
| MEDICA L | 58 | 3 |
| ARCA | 7 | 8 |
| ELEKTRA | 40 | 13 |
| MOVILA B | 51 | 12 |
| APASCO | 28 | 9 |
| ELEKTRA | 40 | 14 |
| AMALCO | 33 | 4 |
| DATAFLX B | 37 | 1 |
| HOGER B | 32 | 10 |
| PEPSIGX CPO | 19 | 10 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.11



Gráfica 6.10 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

Se realizaron dos últimas simulaciones para actualizar los portafolios de inversión empleando información de acciones que cotizaron en la Bolsa Mexicana de Valores durante el mes de mayo del año 2004, en la tabla 6.12 se presentan los datos empleados para la simulación y en las tabla 6.13 y 6.14 los resultados de la simulación con sus respectivas gráficas obtenidas (gráficas 6.11 y 6.12).

| INDICADOR DEL MERCADO IPC INDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES | RENDIMIENTO PROMEDIO 0.006375 | VARIANZA DEL RENDIMIENTO (Sm ²) 0.017526242 | | | |
|---|----------------------------------|--|-----------------------|-----------|-----------------------------|
| NOMBRE ACCIÓN | RENDIMIENTO PROMEDIO | VARIANZA DEL RENDIMIENTO (Sm ²) | COEFICIENTES BETA (i) | ALFA (i) | IDENTIFICACIÓN DE LA ACCIÓN |
| AUTLAN B | 0.025 | 0.05 | -0.08829617 | 0.025563 | 1 |
| AMTEL/A | 0.2275 | 0.195170865 | 0.127595 | 0.226687 | 2 |
| APASCO | 0.6775 | 0.624626555 | 0.02404333 | 0.677347 | 3 |
| ARA | 0.04 | 0.175119007 | -0.02247591 | 0.040143 | 4 |
| ASUR/B | 0.35 | 0.7 | -0.00756452 | 0.350048 | 5 |
| BACHOCO/UBL | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| BIMBO/A | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| BUFETE/CPO | 1.2375 | 4.554370611 | 0.17616964 | 1.236377 | 8 |
| CAMESA | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| CELV | 0.785 | 0.496957409 | 0.00333317 | 0.784979 | 10 |
| CIE/B | -0.8475 | 1.446729069 | 0.07899753 | -0.848004 | 11 |
| CINTRA/A | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| CMOCTEZ | -0.02 | 0.048304589 | 0.00100373 | -0.020006 | 13 |
| CMR/B | -0.255 | 0.51 | 0.23443476 | -0.256495 | 14 |
| CUMERCI/UB | 0.09 | 0.084063468 | -0.04585486 | 0.090292 | 15 |
| COMERCI/UBC | 0.28 | 0.28437065 | 0.00967843 | 0.279938 | 16 |
| CYDSASA/A | -0.0075 | 0.027537853 | -0.00770549 | -0.007451 | 17 |
| DATAFLX/B | -0.025 | 0.05 | 0.00118683 | -0.025008 | 18 |
| ECE | 0.0275 | 0.055 | -0.01674292 | 0.027607 | 19 |
| FEMSA/UB | -0.56 | 2.225593554 | 0.36709091 | -0.56234 | 20 |
| FRAGUA/B | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| GCC B | -0.0125 | 0.025 | 0.00014097 | -0.012501 | 22 |
| GCORVI/B | -0.0525 | 0.303466088 | -0.0062525 | -0.05246 | 23 |
| GEUPEC/B | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| GFBB/B | 0.0075 | 0.417801787 | -0.05719 | 0.007865 | 25 |
| GFINBUR/0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| GFINTER/0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 |

| | | | | | |
|--------------|---------|-------------|-------------|-----------|----|
| GECONSA | 0.0625 | 0.075 | -0.00271361 | 0.062517 | 28 |
| GMACMA/B | -0.0225 | 0.045 | 0.00052246 | -0.022503 | 29 |
| GMEXICO/B | -0.105 | 0.134783777 | 0.00908667 | -0.105058 | 30 |
| GMODELO/C | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 |
| GOMO | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| GPQ/B | 0.15 | 0.3 | -0.02793363 | 0.150178 | 33 |
| GRUMA/B | 0.1025 | 0.301482448 | 0.52165 | 0.099174 | 34 |
| HILASAL/A | -0.16 | 0.114309521 | 0.01173333 | -0.160075 | 35 |
| HOGAR/B | 0.355 | 0.347419055 | -0.13352724 | 0.355851 | 36 |
| HYLSAMX/B | -0.1275 | 0.255 | 0.00570929 | -0.127536 | 37 |
| ICA | -0.375 | 0.478713554 | 0.41035626 | -0.377616 | 38 |
| ICH/B | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 |
| IEM/B | 0.325 | 0.262995564 | -0.01723423 | 0.32511 | 40 |
| IMSA/UBC | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 |
| INVEX/O | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 |
| IXEGF/O | 0.0375 | 0.519446821 | 0.05221024 | 0.037167 | 43 |
| KIMBER/B | 0.0875 | 0.361973756 | -0.06650778 | 0.087924 | 44 |
| LIVEPOL/1 | 0 | 0.040824829 | 0.003908 | -2.49E-05 | 45 |
| LIVEPOL/C1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 |
| PARRAS | -6.7425 | 12.65791024 | 0.00343317 | -6.742522 | 47 |
| POSADAS/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 |
| QUIMMA/B | 0.025 | 0.31214313 | 0.7149 | 0.020443 | 49 |
| RCENTRO/A | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 |
| SANMEX/B | -0.005 | 0.068556546 | -0.00280801 | -0.004982 | 51 |
| SORIANA/B | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 |
| TEKCHEM/A | 0.0825 | 0.18191115 | -0.01783564 | 0.082614 | 53 |
| TELMEX/A | 0.0975 | 0.051881275 | -0.00578228 | 0.097537 | 54 |
| TLEVISA/CPO | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 |
| TA | 0.12 | 0.193735214 | 0.37546519 | 0.117606 | 56 |
| TVAZTECA/CPO | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 |
| UNEFON/A | 0.135 | 0.273068978 | -0.00042648 | 0.135003 | 58 |
| WALMEX/C | 0.2625 | 0.344806709 | 0.51680714 | 0.259205 | 59 |
| WALMEX/V | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 |

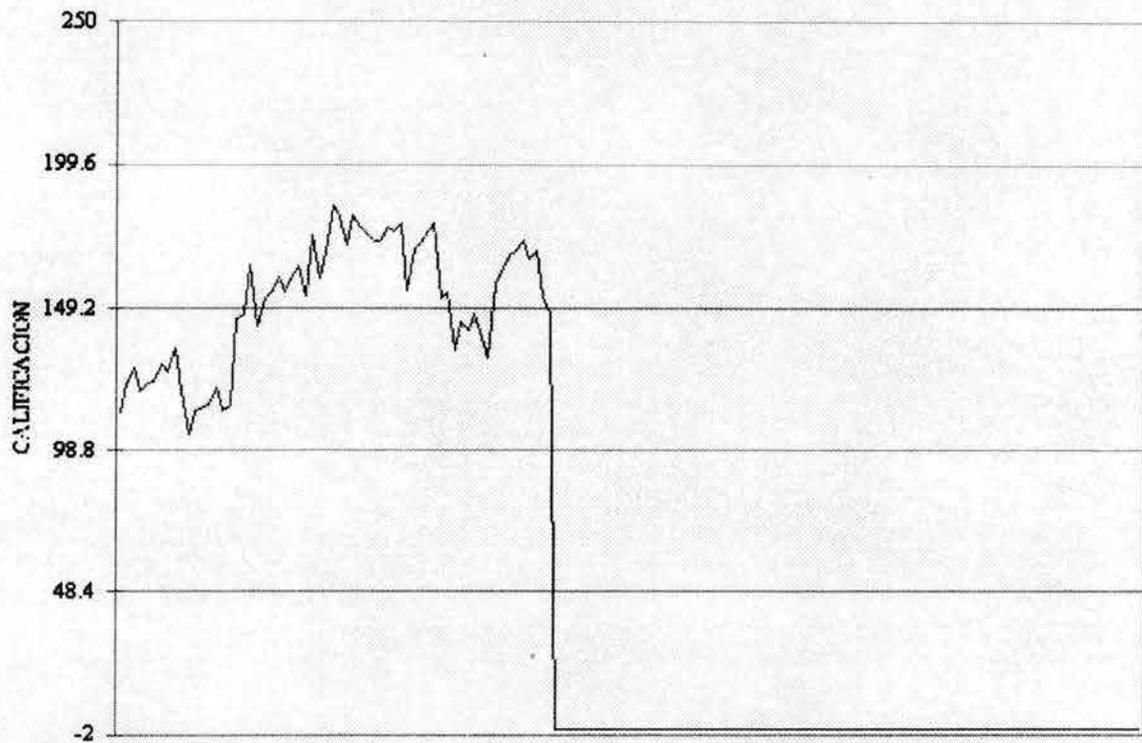
Tabla 6.12

11ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|----------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99 |
| GENERACIÓN | 64 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 147.1 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | .01387 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | .003697 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| NOMBRE | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
| TVAZTECA/CPO | 57 | 14 |
| TLEVISA/CPO | 55 | 6 |
| SORIANA/B | 52 | 3 |
| ARA | 4 | 14 |
| CEL/V | 10 | 6 |
| GCORVI/B | 23 | 3 |
| TEKCHEM/A | 53 | 10 |
| TEKCHEM/A | 53 | 2 |
| MACMA/B | 29 | 7 |
| CYDASA/A | 17 | 7 |
| FRAGUA/B | 21 | 14 |
| UNEFON/A | 58 | 1 |
| GEUPEC/B | 24 | 4 |
| AUTLAN/B | 1 | 8 |
| GPQ/B | 33 | 1 |
| SUMA DE % ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.13



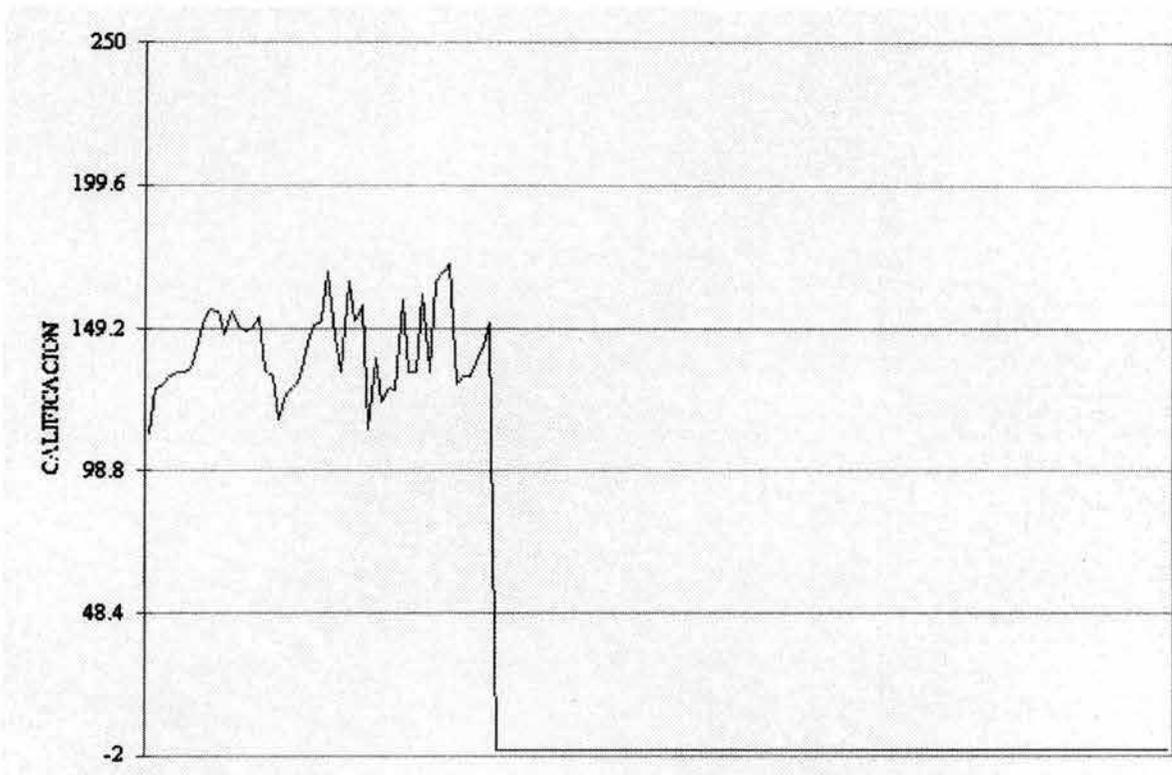
Gráfica 6.11 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

12ª SIMULACIÓN

| | |
|--------------------------------|----------------|
| POBLACIÓN | 100 |
| NUMER DE GENES | 15000 |
| FACTOR MUTANTE | 0.05 |
| TOTAL DE APTITUD | 99.99 |
| GENERACIÓN | 51 |
| CALIFICACIÓN GENERACIÓN | 151.3 |
| BITS MUTADOS | 8 |
| MEJOR INDIVIDUO | 100 |
| CALIFICACIÓN INDIVIDUO | 2 |
| RENDIMIENTO PORTAFOLIO | 0.277 |
| RIESGO DEL PORTAFOLIO | 0.01368 |

| INDIVIDUO O PORTAFOLIO | IDENTIFICACIÓN | PORCENTAJE |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| BUFETE/CPO | 8 | 7 |
| AUTLAN/B | 1 | 3 |
| ARA | 4 | 9 |
| APASCO | 3 | 6 |
| APASCO | 3 | 6 |
| BIMBO/A | 7 | 10 |
| IXEGF/0 | 43 | 3 |
| HOGAR/B | 36 | 10 |
| CMOCTEZ | 13 | 6 |
| TEKCHEM/A | 53 | 10 |
| AUTLAN/B | 1 | 4 |
| BIMBO/A | 7 | 5 |
| IEM/B | 40 | 8 |
| GCORVI/B | 23 | 3 |
| CAMESA | 9 | 10 |
| SU% ACCIONES | | 100 |

Tabla 6.14



Gráfica 6.12 Calificación de cada una de las generaciones obtenidas mediante la simulación

Análisis

En la simulación del mes de octubre del año 2002 se aprecia que los rendimientos de los portafolios de inversión son muy pequeños y su riesgo es negativo, es decir existe la posibilidad de pérdida de la inversión. Esto se debe a que en los datos iniciales el rendimiento del mercado y el de muchas acciones es negativo, lo que implica que matemáticamente los coeficiente alfa y beta sean negativos. El rendimiento negativo del mercado y el de muchas acciones es el resultado, por otro lado, del temor a invertir por parte de los inversionistas, y por otro, del bajo consumo por parte de los consumidores. Y esto (en cierta forma) se debe a la respuesta del público e inversionistas a los atentados terroristas del 11 de septiembre en Nueva York.

Respecto a la simulación del mes de mayo del año 2004, los resultados muestran portafolios de inversión con un rendimiento positivo (ganancia) y un riesgo mínimo (varianza positiva), lo que indica en este periodo un clima más estable para invertir y una mayor confianza por parte de los inversionistas.

Para invertir se recomienda cualquiera de los portafolios obtenidos mediante las simulaciones. Los resultados obtenidos mediante este algoritmo genético indican que este, refleja fielmente la realidad, y proporciona las acciones mas redituables y menos riesgosas para invertir, concordando con la Teoría de Portafolio y la Diversificación del Riesgo. Por lo que se recomienda el uso de este Algoritmo Genético para la obtención de un Portafolio de Inversión Óptimo (mayor rendimiento y menor riesgo), con lo que se cumple con el objetivo fundamental de este trabajo de investigación.

Conclusiones

PRIMERA.-Las simulaciones se llevaron a cabo exitosamente, obteniéndose individuos óptimos, es decir portafolios de inversión con la mayor ganancia y el menor riesgo posible.

SEGUNDA.-Los resultados que este algoritmo genera, reflejan la realidad fielmente.

TERCERA.-Se recomienda el uso de este algoritmo para la obtención de portafolios de inversión óptimos.

CONCLUSIONES

PRIMERA.- El Algoritmo Genético es un medio eficaz, económico y rápido para la obtención de resultados y es un medio de simulación. Esto permite al inversionista tomar decisiones importantes.

SEGUNDA.- Cuando son implementados adecuadamente los algoritmos genéticos reflejan fielmente la realidad, ya que imitan el comportamiento que ha seguido la naturaleza en su proceso evolutiva.

TERCERA.- Mediante la implementación de este algoritmo genético se pudieron obtener portafolios de inversión óptimos, es decir con el mayor rendimiento y el menor riesgo posible.

CUARTA.- La implementación de la simulación es recomendable sobre todo antes de tomar decisiones tan importantes como la inversión. Se recomienda invertir en cualquiera de los portafolios obtenidos mediante las simulaciones.

QUINTA.- Este algoritmo genético refleja fielmente la realidad, ya que los portafolios de inversión obtenidos para el periodo de octubre del año 2002 reflejan la incertidumbre (atentados terroristas del 11 de septiembre del 2002 en Nueva York) existente en las Bolsas de Valores en el mundo (con inversiones de rendimiento mínimo y muy riesgosas), por otro lado, los portafolios de inversión del periodo de mayo de 2004 presentan un mejor panorama: mayor rendimiento y un riesgo mínimo.

SEXTA.- Se cumplió con el objetivo de esta tesis, el desarrollar un Algoritmo Genético basado en la Teoría de Portafolio y el la Diversificación del Riesgo para la obtención de un Portafolio de inversión Óptimo, es decir, que presente el mayor rendimiento y menor riesgo posible.

SÉPTIMA.- Se recomienda el uso de este algoritmo genético para futuros trabajos de investigación, como son la determinación de portafolios de inversión óptimos conformados por activos de las diferentes Bolsas de Valores del Mundo.

OCTAVA.- El desarrollo de este algoritmo es útil para estudiantes universitarios, profesores e investigadores, así como para inversionista y profesionales que se desempeñen en el área de inversiones.

ANEXOS

Anexo 1³⁷

Uso de Notación Matricial

Un sistema de m ecuaciones con n incógnitas se define como:

$$a_{11} X_{11} + a_{12} X_{12} + \dots + a_{1n} X_{1n} = b_1$$

$$a_{21} X_{21} + a_{22} X_{22} + \dots + a_{2n} X_{2n} = b_2$$

$$\begin{array}{ccccccc} \cdot & & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot \end{array}$$

$$a_{m1} X_{m1} + a_{m2} X_{m2} + \dots + a_{mn} X_{mn} = b_m$$

puede ser expresado en notación matricial como:

$$AX = B$$

donde:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{bmatrix}$$

³⁷ Cfr. HARRY M. MARKOWITZ, *Mean-Variance Analysis in Portfolio Choice and Capital Markets*, 1ª. edic., Editorial Basil Blackwell Inc, Cambridge Massachussets USA, 1989, pág. 347.

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{b}_n \end{bmatrix}$$

donde denotamos como A' la matriz traspuesta de A , en particular:

$$\mathbf{X}' = [\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n]$$

$$\mathbf{B}' = [\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_m]$$

Se dice que la matriz A es Simétrica si $m = n$ y $A = A'$

Además, una combinación lineal de variables puede ser escrita como:

$$\mathbf{E} = \mu_1 \mathbf{X}_1 + \mu_2 \mathbf{X}_2 + \dots + \mu_n \mathbf{X}_n$$

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n (\mu_i \mathbf{X}_i)$$

Y puede ser escrita como:

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{\mu}' \mathbf{X}_i$$

donde:

$$\boldsymbol{\mu}' = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

La combinación cuadrática homogénea:

$$\begin{aligned} \mathbf{V} = & \sigma_{11} \mathbf{X}_1^2 + \sigma_{12} \mathbf{X}_1^2 + \dots + \sigma_{1n} \mathbf{X}_1^2 \\ & + \sigma_{21} \mathbf{X}_2^2 + \sigma_{22} \mathbf{X}_2^2 + \dots + \sigma_{2n} \mathbf{X}_2^2 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & + \sigma_{n1} \mathbf{X}_n^2 + \sigma_{n2} \mathbf{X}_n^2 + \dots + \sigma_{nn} \mathbf{X}_n^2 \end{aligned}$$

se escribe como:

$$\mathbf{V} = \mathbf{X}' \mathbf{C} \mathbf{X}$$

donde:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

BIBLIOGRAFÍA

ALLIGOOD T. Kathleen- YORKE A. James (1996), *An introduction to dynamical systems*, 1ª edición, Editorial Spronger, Estados Unidos de América.

AMLING F. (1989), *Investment, An introduction to Análisis and Management*, 6ª. Edición, Editorial Prentice Hall, New Jersey.

BACK T. (1996), *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*, 1ª edición, Editorial Oxford University Press, Inglaterra.

BAZARAA S. Mokhtar- JARVIS J. John (1984), *Programación lineal y flujo de redes*, 4ª edición, Limusa-Noriega Editores, México.

BEASLEY D. (1993), *An overview of Genetic algorithms:Part 1,Fundamentals*, University Computing,vol. 15, no. 2, pp. 58-69.

BEASLEY D. (1993), *An overview of Genetic algorithms:Part 2,Reserch Topics*, University Computing,vol. 15, no.2 , pp. 170-181.

BREALLY R. A. , MAYERS S. C. , MARCUS A. J. (1995), *Fundamentals of Corportate Finance*, Editorial McGraw-Hill, Estados Unidos de América.

BRIHAM & GAPENSKI (1998), *Finantial Management*, 7ª edición, Editoirial Drydan, Estados Unidos de América.

BOX G. E. P. (1957), *Evolutionary operation: A meted for increasing industrial productivity*, Appl. Statistics, vol VI, no.2, pp. 81-101.

BREADLEY R. A. & MYERS S. C. (1991), *Principles of Corporate Finance*, 4ª edición, Editorial McGraw-Hill, Estados Unidos De America.

CARLSON S.E. , SHONKWILER (1994), *Comparison of three non-derivate Optimization Methods whit a Genetic Algorithms for Components Selection*, journal of Engineering Desing, Vol 5, no.4.

COHEN, ZINBARG, ZEIKEL (1987), *Investment Analysis and Portfolio Management*, 5ª edición, Editorial IRWIN, Estados Unidos de America.

COOPER & FRASER (1990), *The Finantial Markets*, 3ª edición, Editorial Addison-Wesley Publishing Company, Estados Unidos de América.

DAWN T. (1995), *Nature Shows the way to Discover Better answers*, Scientific Computing World, Marzo.

DIACOGIANNIS G. P. (1994), *Finantial Management*, Editorial McGraw-Hill,Reino Unido.

DIEZ DE CASTRO L. & MASCAREÑAS J (1991), *Ingeniería Financiera(La gestión de los mercados financieros internacionales)*, Editorial McGraw-Hill, España.

- DRAZIN P.G. (1992), *Non linear systems (Serie Cambridge Texts in applied mathematics # 10)*, 1ª edición, Editorial Cambridge University, Inglaterra.
- EAKINS S. G. (1999), *Finance (Investments, institutions, Management)*, Editorial Addison wesley, Estados Unidos de América.
- EDWIN ATTLE Jackson (1988), *Perspective of nonlinear dynamics*, 1ª edición, Editorial Cambridge University, Inglaterra.
- ELTON, GRUBER (1995), *Modern Portfolio Theory and Investment análisis*, 5ª Edición, Editorial Jhon Wiley & Soons Inc. , Canada.
- FISHER R. A. (1930), *The Genetical Theory of Natural Selection*, 1ª edición, Editorial Claredon, Oxford Inglaterra.
- FOGEL D.B. (1995), *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, New Jersey, USA, IEEE Press.
- FOGEL D. B. (1998), *Evolutionary Computation: The Fossil Record*, IEEE press.
- FOGEL L., OWENS A. , Walsh M. (1996), *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*, Editorial Jhon Wiley & Sons, Nueva York, USA.
- GALITZ L. (1994), *Financial Engineering (Tools and Techniques to manage Financial Risk)*, Editorial PITMAN, Reino Unido.
- GALLIGER G. W. & POE. J. B. (1995), *Essentials of Finance (An integrated Approach)*, Editorial Prentice-Hall, Estados Unidos de América.
- GLOVER F. (1986), *Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence*, Computers and Operations Research, #13, pp 533-549.
- GOLDBERG, DEB K., THIERENS (1992), *Toward a better understanding of Mixing in Genetic Algorithms*, Journal of the Society for Instrumentation and Control Engineers, año 32, vol. 1.
- GOLDSMITH R. W. (1969), *Financial Structure and Development*, Editorial New Haven and London Yale University Press.
- HALDANE J. B. S. (1932), *The cause of Evolution*, Editorial Longman, Londres Inglaterra.
- HARRIS R. , ELLIS C. (1993), *An alternative Description of the Actino of Crossover*, Reserch Report PEDC-02-93. Plymouth engineering desing Centre, Univ. of Playmouth.
- HIGHD E. H. & ROSENBAUM R. S. (1985), *Matemáticas Financieras*, 3ª edición, Editorial Prentice Hall, México.
- HILLIER S. Frederick-LIEBERMAN J. Gerald (1992), *Introducción a la investigación de operaciones*, 1ª edición, Editorial McGraw Hill, México.
- HOLLAND J. (1975), *Adaptation in natural and artificial systems*, MIT press, Cambridge.

- HULL J. C. (1993), *options, Futures and others Derivates*, 2ª edición, Editorial Prentice-Hall, Estados Unidos de América.
- JAUFFRED M. Francisco J. (1974), *Métodos de optimización*, 2ª edición, Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. de México, México.
- JONES R. G. & DUDLEY D. (1978), *Essentials of Finance*, Editorial Prentice-Hall, Nueva Jersey.
- JONSON R. W. & MELICHER R. W. (1996), *Administración Financiera*, 5ª edición, Editorial CECSA, México.
- JUÁREZ C. I. (20002), *Sobre las regiones geométricas articulares y su aplicación en el mejoramiento del desempeño de un manipulador mediante estrategias evolutiva*, Tesis Doctoral, DEPFI, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- KOLB R. W. R. (1991), *Options (an introduction)*, Editorial Kolb Publishing Company, Estados Unidos de América.
- KOLB R. W. R. (1994), *Understanding Futures Markets*, 4ª edición, Editorial Kolb Publishing Company, Estados Unidos de América.
- KOZA J. (1992), *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT press, Cambridge.
- KAUFFMAN S. A. (1993), *The Origin of Order*, Oxford university Press.
- MARK G. & SHERIDAN T. (1998), *Finantial Markets and Corporate Strategy*, Editorial McGraw-Hill, USA.
- MARKOITZ H. M. (1991), *Portfolio Selection*, 2ª. Edición, Editorial Blackwell, Oxford Inglaterra.
- MARKOITZ H. M. (1987), *Mean Variance Análisis inPortfolio Choice and Capital Markets*, Editorial Basil-Blackwell, Oxford Inglaterra.
- MARQUEZ D. CANEDO J. (1987), *Fundamentos de Teoría de Optimización*, Editorial Limusa, México.
- MARSHALL & KAPNER (1994), *Understanding SWAPS*, Editorial WILEY, Estados Unidos de América.
- MARSHALL J. F. & VIPUL K. B. (1992), *Finantial Engineering*, Editorial Ally and Bacon, Estados Unidos de América.
- MASON S, MERTON R. , PEROLD A. , TUFANO P. (1995), *Finantial Engineering*, Editorial Prentice-Hall, Estados Unidos de América.
- MITAL K.V. (1984), *Métodos de optimización*, 1ª edición, Editorial Limusa, México.
- MORA A. O. (1994), *El manual de Ingeniería Financiera*, 1ª edición, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- MORA V. J. (2000), *Algoritmos Genéticos Inteligentes*, Tesis Doctoral, DEPFI, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- MURDOCH, WALLANCE (1993), *An Approach to Configuration Optimization*, Journal Of Engineering desing, Vol.3, No.2.
- POLAR Ian, (1998), *Finatail Engineering*, Editorial Butterworths, australia.
- PRAWDA WITENBERG Juan, (1989)., *Métodos y modelos de la investigación de operaciones (Volumen I Modelos Determinísticos)*, 8ª edición, Limusa –Noriega Editores.
- ROE P. S. (1994), *Money and capital Markets (The Financial Systems in an Increasingly Global Economy)*, 3ª edición, Editorial IRWIN, Estados Unidos de américa.
- ROSE & KOLARI (1995), *Finantial Institutions (Understangind and Managing Finantial Services)*, 5ª edición, editorial IRWIN.
- SCHWEFEL H. P. (1981), *Numerical optimitation of Computer model*, Editorial J.P. Wiley, Nueva York, USA.
- SHARPE W. F. (1995), *portfolio Theory and Capital Markets*, Edotiral McGraw-Hill, Estados Unidos de América.
- SHETTY, McGRATH, HAMMERBACHER, (1995), *Finance (An Integrated Gobal Approach)*, Editorial Austen Press, Estados Unidos de América.
- STEPHENS C. R., WAELBROECK, (1998), *Análisis of the Effective Degrees of Freedom in Genetic Algorithms*, Physycal Review , E57, pp. 3251-3264
- TAHA Hamdy A. (1991), *Investigación de operaciones*, 2ª edición, Editorial Alfaomega, México.
- TAIB Z. (1993), *The nature Theory of Molecular Evolution*, Cambiridge University Press, Cambridge.
- THIERAUF Robert J. (1984), *Introducción a la investigación de operaciones*, 1ª edición, Editorial Limusa , México.
- VAN HORNE J. C. (1997), *Finantial Management and Policy*, 11ª edición, Editorial Prentice-Hall.
- WESTON J. F. & BRIGHAM E. F. (1978), *Managerial Finance*, 6ª edición, Editorial The Dryden Press.
- WESTON J. F. & COPELAND J. E. (1992), *Finanzas en Administración*, 9ª Edición, Editorial McGraw-Hill, México.
- ZVI BODIE, KANE A., MARCUS A. J. (1993), *Investments*, 2ª edición, Editorial IRWIN, Estados Unidos de América.