

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Maestría En Sistemas De Información Gerencial

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN DSS
BASADO EN UN ALGORITMO GENÉTICO PARA PROBLEMAS DE
OPTIMIZACIÓN BINARIOS”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GERENCIAL

Marcos Rodolfo Tobar Morán

Guayaquil-Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado salud y las fuerzas necesarias para cumplir este logro profesional.

Al Director de este proyecto, Ing. Carlos Martin quien con su motivación, apoyo incondicional y confianza depositada hizo posible la consecución de este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera, colaboraron o participaron en el desarrollo de esta tesis de grado, dejo constancia de mi agradecimiento.

DEDICATORIA

A mis padres por la motivación y el apoyo incondicional demostrado en todas las etapas de mi formación académica e inculcarme el deseo de superación

A mi Familia que ha estado siempre pendiente dándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles para tratar de cumplir mis metas y objetivos.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Mgs. Lenin Freire

DIRECTOR MSIG

Mgs. Carlos Martin

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Mgs. Néstor Arreaga

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Ing. Marcos Rodolfo Tobar Morán

RESUMEN

Los sistemas de Soporte de Decisiones, por sus siglas en inglés DSS contribuyen a la toma de decisiones no rutinarias es decir que no están involucradas con las operaciones diarias de la empresa como por ejemplo: compra de insumos, venta de productos finales, entre otras, en este sentido, los DSS pueden estar basados en datos u orientados a modelos matemáticos de optimización.

Por otra parte, los algoritmos genéticos basados en el principio de la genética y evolución son utilizados en problemas que presentan un alto grado de complejidad para hallar una solución. Por ello, siendo el proceso de toma de decisiones importante para una empresa y más aún en procesos complejos que requieren ser optimizados, entonces se propone la utilización de herramientas matemáticas para modelar el problema y mediante la técnica apropiada encontrar una solución que contribuya a la mejora en la toma de decisiones.

Con estos antecedentes, se plantea desarrollar un sistema de información DSS orientado al web que resuelva modelos matemáticos de los diversos

procesos en las áreas de una empresa relacionados con problemas de optimización binaria mediante la utilización de algoritmos genéticos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS.....	6
2.1 SOFTWARE DSS.....	6
2.2 SISTEMAS DISTRIBUIDOS.....	7

2.3 APLICACIONES WEB	9
2.4 MODELOS MATEMÁTICOS DE OPTIMIZACIÓN	10
2.5 PROBLEMAS COMBINATORIOS	11
2.6 HEURÍSTICA Y METAHEURÍSTICA	12
2.7 ALGORITMO GENÉTICO.....	14
CAPITULO 3.....	16
EL ALGORITMO GENÉTICO	16
3.1 EL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN BINARIO	16
3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO.....	17
3.2.1 GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL	20
3.2.2 MUTACIÓN DE INDIVIDUOS	21
3.2.3 CRUCE DE INDIVIDUOS	22
3.2.4 PROCESO ITERATIVO DEL ALGORITMO GENÉTICO	24
3.2.5 CRITERIOS DE DIVERSIFICACIÓN Y MEJORAS	26
3.2.6 MÉTODO PRINCIPAL DEL ALGORITMO	28
3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO CON MÉTODOS EXACTOS	29
3.4 ANÁLISIS DE CONVERGENCIA.....	29

CAPÍTULO 4.....	31
CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DSS.....	31
4.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA.....	31
4.2 CAPA DE PRESENTACIÓN.....	32
4.3 CAPA DE NEGOCIOS.....	32
4.4 CAPA DE DATOS.....	33
CAPITULO 5.....	35
EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES.....	35
5.1 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN.....	36
5.2 PROBLEMA DE TRANSPORTE.....	40
5.3 PROBLEMA DE FINANZAS.....	44
5.4 PROBLEMA DE MARKETING.....	48
5.5 PROBLEMA DE PROYECTOS.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 ESQUEMA DE UN ALGORITMO SIMPLE RESUMEN.....	19
FIGURA 3.2 CRUZAMIENTO PARA CADENAS BINARIAS	23
FIGURA 3.3 CROSSOVER DOS PUNTOS PARA CODIFICACIÓN BINARIA	23
FIGURA 3.4 CROSSOVER UNIFORME PARA CODIFICACIÓN BINARIA .	24
FIGURA 5.1 APLICACIÓN DE MICROSOFT VISUAL STUDENT EXPRESS 2013 FOR WEB	54
FIGURA 5.2 APLICACIÓN QUE SE VA A EJECUTAR EN EL COMPUTADOR.....	55
FIGURA 5.3 APLICACIÓN DESARROLLADA LISTA PARA LA EJECUCIÓN	56
FIGURA 5.4 PANTALLA PRINCIPAL DE INGRESO DE DATOS DE ACUERDO AL PROBLEMA A OPTIMIZAR.....	57
FIGURA 5.5 PANTALLA CON INGRESO DE DATOS PARA EJECUTAR ..	58
FIGURA 5.6 PANTALLA DE RESULTADOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 DATOS DEL COSTO DE ASIGNACIÓN DE DÓLARES	36
TABLA 2 TABLA DE COSTOS	40
TABLA 3 VALORES ACTUALES PROYECTADOS DE LA COMPAÑÍA	45
TABLA 4 INCREMENTO ESTIMADO EN VENTAS PARA LOS GASTOS EN PUBLICIDAD	48
TABLA 5 INVERSIÓN MÁXIMA EN CADA PRODUCTO	52

INTRODUCCIÓN

El trabajo de titulación se enmarca en contribuir a la toma de decisiones a través de la optimización de sus procesos mediante el uso de un sistema de información basado en modelos matemáticos utilizando la técnica de algoritmos genéticos. Concretamente, en el capítulo uno se describe las generalidades de la propuesta del trabajo de titulación como son los objetivos general, específicos, descripción del problema y la solución propuesta.

En el capítulo dos se presenta una revisión de los conceptos y fundamentos teóricos que respaldan la propuesta. En términos específicos, ¿Qué es un sistema DSS?, ¿Qué son los sistemas distribuidos?, aplicaciones web, modelos matemáticos de optimización, problemas combinatorios, la diferencia entre una heurística y meta heurística, Además se hace especial mención de los algoritmos genéticos que es el objeto de estudio del presente trabajo de titulación.

En el capítulo tres se muestra en detalle todo lo referente con los algoritmos genéticos, es decir se evidencia todo el proceso y conceptualización del modelo matemático utilizado.

En el capítulo cuatro, se presenta la arquitectura y cada una de las capas involucradas para el desarrollo del sistema de información.

En el capítulo cinco, se presentan los resultados de la aplicación del sistema de información en diversos escenarios, como son: de inversión, proyectos, finanzas, transporte y marketing. De forma paralela, se realiza un proceso de verificación mediante la utilización del software Solver Lindo. Finalmente, se presentan las respectivas conclusiones y futuras investigaciones a partir del presente trabajo de titulación.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Las estrategias hoy en día para resolver o dar solución a problemas que se presentan en nuestra sociedad van cada día más en aumento. Problemas como la asignación de recursos, selección de proyectos, transportes, marketing, finanzas entre otros, son en los que debemos estar preparados buscando o desarrollando técnicas que nos permitan resolver esas situaciones reales que se encuentran representadas mediante modelos matemáticos.

Las situaciones que se presentan en el diario vivir pueden ser resueltas utilizando métodos exactos en donde se va a obtener una solución al

problema y dependiendo de la dificultad o complejidad del mismo habrá casos en que dicha respuesta no podrá ser entregada en forma inmediata debido a que el modelo matemático tiene un número considerable de variables haciendo que la tecnología de los computadores no puedan entregar dicha respuesta en un tiempo razonable.

Es por este motivo que se debe buscar alternativas de solución como lo son las técnicas heurísticas o metaheurística como en nuestro caso particular de desarrollo de tesis en la cual nos enfocamos en el método de los Algoritmos Genéticos teniendo su mayor importancia, ya que aunque se trate de un método inexacto deberán ser capaces de entregar buenas soluciones en espacios de tiempos razonables.

Las empresas actualmente para la toma de decisiones deberían contar con aplicativos web fáciles de usar, en donde internamente se encuentra el Algoritmo Genético que resolverá el modelo matemático de optimización binario el cual tendrá la capacidad de optimizar sus recursos y de esta manera poder tomar la mejor decisión.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Construir un sistema de información DSS orientado al web que resuelva modelos matemáticos para las diversas áreas de una empresa relacionados con problemas de optimización binaria utilizando algoritmos genéticos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar los conceptos y definiciones necesarias que se van a utilizar para el desarrollo de los tópicos en los capítulos posteriores.
- Explicar en forma detallada cada etapa y fase de la implementación del algoritmo genético que se propone para resolver problemas de optimización binaria.
- Desarrollar la construcción del sistema de información web donde se discuten criterios de diseño e implementación en las 3 capas del sistema: presentación, negocios y datos.
- Comprobar el funcionamiento del software construido, que tiene en su interior el algoritmo genético, con algunos problemas reales que enfrentan las empresas relacionados con la optimización binaria en finanzas, transporte, asignación, marketing y gestión de proyectos.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los gerentes medios de las organizaciones toman decisiones diariamente que afectan a todas las áreas de la empresa. Un gran porcentaje de estas decisiones tiene que ver, desde una perspectiva matemática, con problemas de optimización binaria, los mismos que se modelan con una función objetivo que usualmente es lineal y donde las variables de decisión son binarias. Se trata de una “optimización con

restricciones” en las cuales las ligaduras son también lineales. La función puede representar costos o beneficios, mientras que las ligaduras representan restricciones económicas o de recursos en general como materia prima, mano de obra, maquinaria.

Para resolver el modelo matemático que se menciona anteriormente existen métodos exactos e inexactos. El inconveniente de los primeros es que a pesar de que proporcionan la solución óptima del problema, cuando el número de variables y de ligaduras es muy grande, la tecnología de los computadores actuales NO permite encontrar la solución óptima en un tiempo razonable. Por el contrario, los métodos inexactos nos permiten obtener en un tiempo adecuado y viable, sino la solución óptima, una “buena” solución, pero son más complicados de implementar. El algoritmo genético es un método heurístico inexacto que se utiliza para resolver problemas de optimización binaria.

1.5 SOLUCIÓN PROPUESTA

Los sistemas de información DSS sirven para apoyar la toma de decisiones de los gerentes de nivel medio en una empresa, muchas de estas decisiones están relacionadas con problemas de optimización binarios, como por ejemplo: asignación personas/tareas, transporte/transbordo, selección de proyectos, planificación de recursos

de manufactura, los que pueden encontrarse en las áreas de finanzas, marketing, recursos humanos, producción.

Es importante que las empresas cuenten con sistemas de información modernos que corran en la web y que tengan la capacidad de resolver modelos matemáticos de optimización binaria muy complejos usando, por ejemplo, algoritmos genéticos para los problemas tan comunes antes mencionados. Estos sistemas deben proporcionar una interfaz gráfica muy amigable y deben ser fáciles de utilizar. Los gerentes medios deben conocer cómo configurar estos algoritmos especiales y deben saber interpretar los resultados que estos proporcionan para una toma de decisiones adecuada, no basadas empíricamente sino en justificaciones matemáticas.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

2.1 SOFTWARE DSS

Los DSS (Decision Support System/Sistema de Soporte de Decisiones), son sistemas interactivos basados en software que proporcionan soporte a la toma de decisiones no rutinarias es decir que no están involucradas con las operaciones diarias de la empresa como por ejemplo: compra de insumos, venta de productos finales. Los DSS pueden estar basados en datos u orientados a modelos matemáticos de optimización [10].

El proceso de toma de decisiones es vital para una empresa y que mejor que esté apoyada por un sistema de información DSS que ayude a mejorar la comunicación, incremente la productividad, manipule los datos, reduzca los costos utilizando herramientas matemáticas como los

algoritmos genéticos para su proceso de optimización de tal manera que se logre una mejora en su efectividad, calidez y rapidez [1].

2.2 SISTEMAS DISTRIBUIDOS

Actualmente los sistemas distribuidos son utilizados por millones de personas para realizar diferentes tipos de actividades como transacciones bancarias, envío de correos electrónicos, operaciones de compra-venta y muchos más.

Debido al avance de la tecnología los sistemas distribuidos es un área de cambios constantes tanto para hardware y software como por ejemplo: las redes de computadoras involucran líneas de comunicación mucho más rápidas, nuevas arquitecturas así como multiprocesadores cada vez más poderosos. Estos sistemas debido a su complejidad cada vez más alta, deben resolver problemas que tienen que ver con los aspectos de comunicación, la sincronización, manejos de procesos, seguridad y criptología, uso compartido de memoria, así como problemas en las bases de datos y sistemas de archivos.

Podemos decir entonces que un sistema distribuido está compuesto por recursos informáticos distribuidos físicamente que se comunican mediante una red de comunicaciones la cual no es transparente para el usuario final, utilizando software o programas de alto nivel que permiten tener el control de todos los componentes y de esta manera poder

compartir dichos recursos (hardware, software y datos) ya que el usuario podrá solicitar los servicios que él requiera sin necesidad de saber su ubicación o localización [2].

Uno de los modelos más utilizados en la actualidad como sistema distribuido es el modelo Cliente/Servidor el cual está formado por un conjunto de procesos servidores y un conjunto de procesos clientes. Los procesos servidores son los gestores de recursos los cuales necesitan a veces acceder a recursos compartidos manejados por otros procesos cumpliendo la doble función de clientes y servidores. Los procesos servidores son los encargados de manejar los recursos compartidos mientras que los procesos clientes son los encargados de realizar las peticiones a los procesos servidores cuando estos requieren acceder a cualquier tipo de recurso, entendiéndose como proceso a un programa en ejecución. Los servicios proporcionados por los servidores a los clientes pueden ser ejecutadas en varias computadores cooperando vía red para lograr de esta manera que la provisión de recursos por parte de los servidores deje de ser centralizada lo cual no es deseable en un sistema distribuido [3].

Dentro de los modelos Cliente/Servidor para poder acceder de forma transparente a los servicios y recursos distribuidos en toda la red se lo realiza a través del middleware que tiene que ver con el software en

donde se encuentran los protocolos de comunicación que se utilizan entre el proceso servidor y el proceso cliente.

2.3 APLICACIONES WEB

Las aplicaciones web son sistemas distribuidos ya que al consultar cualquier página se establece un proceso en el que intervienen dos partes: el web browser y el web server. El ordenador local que es el web browser es un proceso cliente que ejecuta una aplicación para solicitar un servicio y ponerse en contacto con el ordenador remoto el web server que es un proceso servidor quien administra un repositorio de documentos en formato HTML, también conocidas como páginas web y será el encargado de responder a lo solicitado mediante un programa que se está ejecutando [4].

El web server utiliza lenguajes que son ejecutados e interpretados por el propio servidor para ser enviados en un formato entendible para el web browser, en cambio los lenguajes del web browser no solo se encuentran en HTML sino en Java y JavaScript que están incluidos dentro del código HTML los cuales no necesitan ser tratados ya que el web server si los puede interpretar.

Los middleware utilizados entre el web server y el web browser es decir lo que tiene que ver con el software donde se encuentran los protocolos de comunicación se lo realiza con el protocolo http perteneciente a la

familia de los TCP/IP para poder acceder de forma transparente a los servicios distribuidos en toda la red.

2.4 MODELOS MATEMÁTICOS DE OPTIMIZACIÓN

Para realizar la optimización de cualquier proceso nos valemos de modelos matemáticos en las cuales van a estar involucrados el vector X de n variables ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), la función objetivo $f(x)$ y las restricciones. Dependiendo del modelo matemático habrá ocasiones en que no podamos utilizar los métodos clásicos de optimización (lineal, no lineal, dinámica, etc.) los cuales garantizan un óptimo local, sino que tendremos que recurrir a métodos metaheurísticos (algoritmos genéticos, sistemas inteligentes, heurísticos tales como la búsqueda tabú, avariciosa, aleatoria etc.) con la finalidad de obtener los óptimos globales, aunque no sea la solución más óptima pero si cercana a la óptima con la ventaja de obtenerla en espacios de tiempos reducidos.

Estos modelos matemáticos lo que pretenden es maximizar o minimizar la función objetivo $f(x)$, para lo cual debemos encontrar el vector X de n variables ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) que debe cumplir las restricciones planteadas para optimizar la solución al problema [5].

Los modelos matemáticos de optimización se van a diferenciar por el tipo de función objetivo $f(x)$ que manejan que puede ser lineal o no lineal y del tipo de variables del vector X que involucran a dicha función tales como

reales(continuas) o enteras(discretas). Los modelos de optimización más utilizados son lineales ya que involucran a cualquier tipo de actividad humana como por ejemplo asignación de tareas, finanzas, marketing, transporte, proyectos etc. Dependiendo del problema nosotros debemos utilizar en el modelo la variable apropiada tal es el caso de que si hablamos de inversión (adquisición de equipos, contratación de personas, etc.) utilizaremos variables enteras (discretas), y si tenemos el caso de asignaciones utilizaremos un caso particular de variables que son las binarias (0/1) pero que se encasillan dentro de las enteras (discretas) a los cuales llamaremos problemas de tipos Combinatorios.

2.5 PROBLEMAS COMBINATORIOS

Cuando hablamos de problemas combinatorios nos referimos a problemas con un conjunto de soluciones, las cuales son obtenidas aplicando métodos de asignar recurso u ordenar actividades, es decir nos referimos a problemas de Reparto o de Secuencias. Pero nuestro objetivo va enfocado a la resolución de problemas combinatorios utilizando métodos de optimización con la finalidad de encontrar el mejor valor dentro del conjunto de soluciones que es discreto y finito [5].

La búsqueda de esta solución óptima para algunos tipos de problemas se lo hace utilizando algoritmos de optimización combinatoria los cuales reducen el espacio y exploran dicho espacio de búsqueda en forma

eficiente. Los métodos de resolución son variados dentro de los cuales se destacan los Algoritmos constructivos y los Algoritmos de mejoras que utilizan las técnicas heurísticas y metaheurísticas cuyas técnicas son capaces de generar siempre una solución, en donde la metaheurística se basa en fenómenos naturales con la finalidad de obtener óptimos globales en vez de óptimos locales.

2.6 HEURÍSTICA Y METAHEURÍSTICA

La Heurística se refiere al procedimiento de encontrar alguna solución para un problema determinado o específico, aunque esta solución no sea la óptima, pero sí muy próxima a la óptima aplicando algún método matemático sencillo, de tal manera que el esfuerzo computacional sea realista y la probabilidad de obtener una mala solución sea muy baja.

Tenemos diferentes modelos o tipos de heurísticas entre las cuales se destacan las siguientes:

Constructivas: parten de una solución determinada y a medida que avanza el proceso se va añadiendo una nueva solución hasta lograr encontrar la mejor como por ejemplo en los problemas de ruta, secuencia, líneas de montaje.

Búsqueda de entornos o mejoras local: parten de una solución cualquier y a medida que avanza el proceso se busca en la vecindad o

su alrededor una mejor solución que la anterior, hasta que se logre obtener la más próxima al óptimo que se requiere.

Voraces o greedy: son rápidas en obtener alguna solución y no permiten alternativas, pudiendo ocurrir que la solución no sea óptima.

Backtracking: a diferencia de las anteriores cuando alcanzan una solución no muy buena retroceden en su proceso para buscar caminos que no fueron considerados.

Las Meta-heurísticas por otro lado se refieren a encontrar alguna solución aunque no sea la óptima, pero sí muy próxima a la óptima aplicando procedimientos heurísticos internamente tales como la búsqueda dispersa, redes neuronales, los sistemas de hormigas, los algoritmos genéticos, búsqueda tabú, entre otros de tal manera de encontrar los óptimos globales y así evitar tomar como solución los óptimos locales que se pueden presentar en los diferentes tipos de problemas de optimización combinatoria.

Para la búsqueda de estos óptimos globales en los problemas de optimización nos basaremos en los tipos fundamentales de meta-heurísticas según el procedimiento a seguir:

Meta-heurística de relajación: realizan modificaciones del modelo original haciendo más fácil su resolución hasta llegar a la solución del problema original.

Meta-heurística constructiva: se basan en la obtención de una solución a partir del análisis y selección paulatina de los componentes que la forman.

Meta-heurística de búsqueda: se basan en recorrer el espacio de posibles soluciones alternativas explorando las estructuras de su entorno asociado.

Meta-heurística evolutiva: se basan en los procedimientos a seguir para que el conjunto de soluciones vaya evolucionando o mejorando hasta obtener una óptima posible.

2.7 ALGORITMO GENÉTICO

Los algoritmos genéticos basan su principio de funcionamiento en la era de la computación evolutiva, en donde se aplican técnicas heurísticas basadas en los principios de la evolución natural de la reproducción sexual buscando siempre la supervivencia del más apto con la finalidad de aplicarlos a métodos adaptativos que son utilizados en problemas de búsquedas y optimización de parámetros. Es así como nacen estos algoritmos inspirados en las técnicas de evolución donde se parte de una

población para posteriormente realizar el proceso de selección, mutación y cruzamiento.

En el siguiente capítulo revisaremos con más detalle los algoritmos genéticos, que es la técnica de optimización utilizada en este trabajo de titulación en donde se analizarán cada una de las etapas que involucran para el proceso de búsqueda de una buena solución y de esta manera optimizar la misma y los tiempos de cómputo.

CAPÍTULO 3

EL ALGORITMO GENÉTICO

3.1 EL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN BINARIO

Es muy importante en ciertos problemas tener un buen dominio de las variables binarias ya que este tipo de variables son mucho más convenientes cuando aplicamos algoritmos de optimización a modelos matemáticos establecidos para poder determinar una buena solución. Estas variables binarias nos permitirán tomar decisiones ya que al tomar el valor de (0 o 1) se sabrá si tal variable debe ser considerada o no en la resolución para poder optimizar la solución.

Problemas característicos en los cuales los algoritmos involucran variables binarias tenemos a los siguientes tipos: el del viajante, el de partición, empaquetado, recubrimiento, y en nuestro caso particular la

implementación del software DSS que involucra al Algoritmo Genético utilizamos el criterio del problema de la mochila el cual consiste en maximizar el valor total de un conjunto de proyectos sin sobrepasar el presupuesto disponible del cual hablaremos con más detalle posteriormente.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO

Para la implementación del Algoritmo Genético y encontrar una solución al problema nos basaremos en la teoría de la evolución biológica de Darwin, ya que dichos estudios de estos algoritmos se iniciaron en el año 1962 por medio de John Holland quien utilizó este método de búsqueda y asentó las bases o principios de estudios hasta llegar a su completo desarrollo.

Para conseguir el objetivo de obtener la solución por medio de los Algoritmos Genéticos debemos tomar como referencia que el tamaño de la población que se escoge como muestra debe ser lo suficientemente grande para que las soluciones sean muy diversas, por lo que dicha población debe ser generada aleatoriamente. Estos algoritmos en cuanto a su población van evolucionando de acuerdo a los criterios de selección, mutación y cruzamiento. Al conjunto de individuos de una población natural se lo representa con una cadena de bit en binarios (0 y 1) llamados cromosomas y cuyos símbolos que forman dicha cadena es

decir cada bit se los representa como genes. Como estos Algoritmos se basan en el criterio de la evolución geológica las poblaciones que se van generando se producen debido a la supervivencia del más apto o del más fuerte y esto hará que cada vez nos vayamos aproximando al óptimo como solución. La ventaja de los algoritmos genéticos es que a pesar de que no garantizan la solución óptima, si entregan como solución una aceptable en un tiempo razonable [6].

Todos los algoritmos genéticos deben cumplir los siguientes criterios y el proceso se repetirá hasta encontrar una condición de terminación o definir el máximo número de iteraciones o detenerlo cuando veamos una convergencia, es decir ya no se producen más cambios que es lo más común. Estos criterios son:

- ✓ Cada uno de los cromosomas generados deben ser evaluados.
- ✓ Deberán reproducirse los cromosomas más aptos.
- ✓ Realizar la mutación del nuevo gen del individuo generado
- ✓ Determinar la nueva población.

Los Algoritmos Genéticos se basan en el principio de la genética y evolución ya que son utilizados en problemas que presentan un alto grado de complejidad para hallar una solución. En la siguiente gráfica

podemos ver el funcionamiento del proceso de los Algoritmos Genéticos [7].

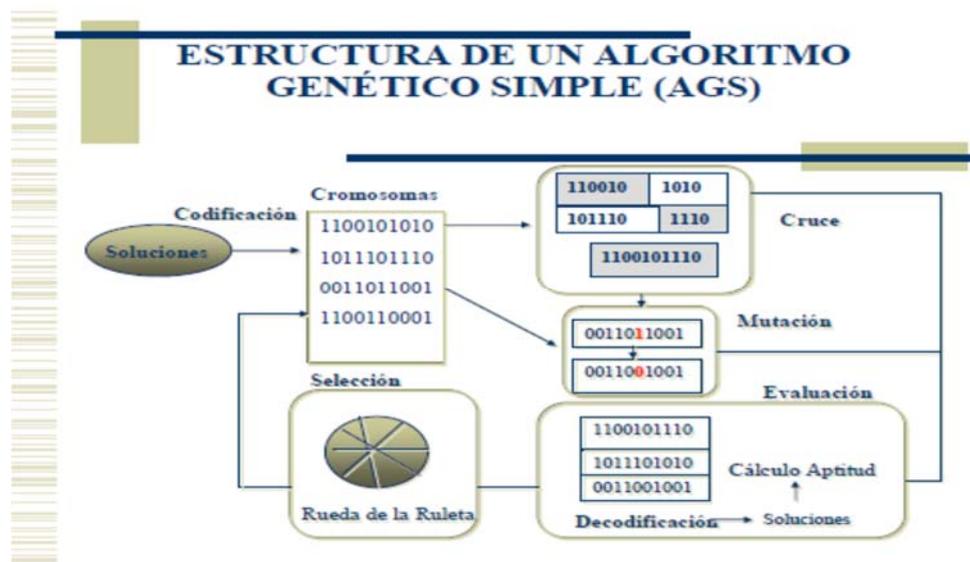


Figura 3.1

Esquema de un algoritmo genético simple

Fuente: tomado de: [7].

Para continuar con el proceso de implementación del algoritmo genético vamos a considerar los siguientes factores importantes:

3.2.1 GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL

Una de las características importantes de los Algoritmos Genéticos es que la solución está basada tomando como referencia poblaciones y cualquiera de los elementos que se encuentran en dicho espacio puede representar el valor que maximiza o minimiza a mi función objetivo $f(x)$, a diferencia de los otros métodos de optimización tradicionales. Si tomamos como referencia un espacio S de cadena de caracteres de bit, de longitud (m) llamados cromosomas, esta Población Inicial $P(0)$ que tiene “ n ” elementos es generada en forma aleatoria y me representa un Subconjunto de S . Cada elemento de este conjunto $P(0)$ al ser evaluado en mi función objetivo $f(x)$ me determina un valor conocido como fitness (aptitud) y en la cadena de bit llamados cromosomas cada uno de los bits me representa un gen y el valor que toma cada uno de los genes se lo denomina alelo (0/1).

Vamos a considerar como tamaño de Población “ n ” donde este valor de tamaño “ n ” es una variable de entrada para el Algoritmo Genético.

Hay dos criterios fundamentales para obtener la población:

- Generación de la población inicial

➤ Tamaño de la población inicial

Debemos tomar en cuenta que el tamaño de la población si es pequeño el Algoritmo Genético tendrá pocas posibilidades de reproducción, en cambio si el tamaño de la población es demasiado grande el software se volverá demasiado lento.

3.2.2 MUTACIÓN DE INDIVIDUOS

La mutación me indica con qué frecuencia los genes han sido mutados y cuando un individuo no difiere mucho de su padre en el genotipo, es porque la mutación tiene una tasa muy baja, en cambio si todos los genes fueron cambiados es decir se produce la inversión del cromosoma y no una mutación se degenera muy rápidamente la población.

Las mutaciones utilizadas con mayor frecuencia son la mutación entera y binaria en donde la binaria se clasifica en mutación uniforme y la mutación aleatoria. La mutación uniforme se refiere a seleccionar cualquier gen del cromosoma y se le cambia de valor es decir si era un "0" pasa a ser "1" y viceversa.

En cambio en la mutación aleatoria se elige cualquier gen y no necesariamente se cambia el "0" o el "1", se elige un número "0" o "1" para sustituir el alelo a mutar. Para números enteros se puede

utilizar la mutación aleatoria para lo cual incrementamos rango de 0, 1, 2, n; donde n representa el máximo a elegir, en cambio la mutación uniforme no se puede utilizar.

3.2.3 CRUCE DE INDIVIDUOS

Es uno de los operadores que se encargan del cruzamiento o intercambio del material genético entre dos padres dando como resultado descendientes hijos, los cuales mejoran a los padres. Esta selección se puede dar con el mismo padre para un descendiente. En este caso permanece el cromosoma dominante pero si este cruce se produce con mucha frecuencia se presentarían adversidades en caso de que estos cromosomas tengan genes no deseados.

Los cruces los podemos realizar de diferentes maneras para lo cual indicamos los más importantes:

- ✓ **Cruce de un punto:** esta forma de cruce es clásica en el cual en el punto de cruce se copian de un lado los genes de un padre y por el otro lado los genes del otro padre desde el punto de cruce [8].

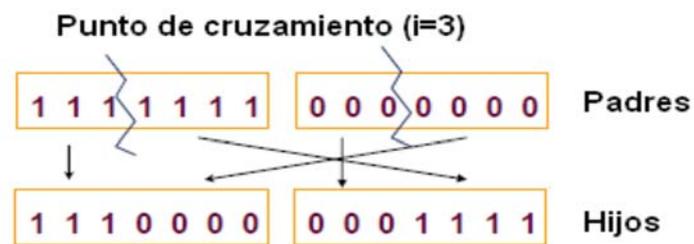


Figura 3.2

Cruzamiento para cadenas binarias

Fuente: tomado de: [8].

- ✓ Cruce de dos puntos: en este tipo de cruce los padres tienen dos puntos de corte, entonces se copiarán los genes del primer progenitor hasta el primer cruce, de ahí desde el punto de cruce hasta el otro cruce con el otro progenitor y por último desde el segundo punto de corte hacia el otro extremo con el otro progenitor.

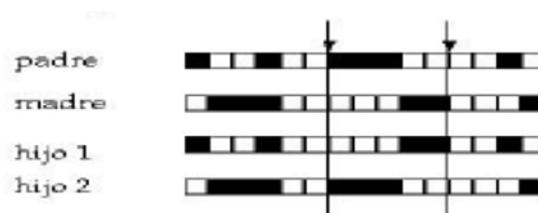


Figura 3.3

Crossover dos puntos para codificación binaria

Fuente: tomado de: [7]

- ✓ **Cruce uniforme:** los genes del descendiente son creados de acuerdo a una máscara creada aleatoriamente por cruce binario de la misma longitud de los cromosomas cogiendo el correspondiente gen de un padre u otro de acuerdo a la máscara.



Figura 3.4

Crossover uniforme para codificación binaria

Fuente: tomado de: [7]

3.2.4 PROCESO ITERATIVO DEL ALGORITMO GENÉTICO

En el proceso iterativo de un algoritmo genético siempre tomaremos como base la Población inicial $P(0)$, que es el espacio de soluciones de todos los posibles valores de nuestro vector X de n variables ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), la misma que fue determinada en forma aleatoria y que cumple con las restricciones planteadas de nuestra función objetivo $f(x)$. Este conjunto de vectores pasara por un proceso iterativo tratando de buscar la mejor solución posible para maximizar o minimizar a nuestra función objetivo $f(x)$. Durante

la primera iteración del algoritmo este buscara o seleccionara a los individuos más aptos generándose una nueva población que llamaremos P (1) donde a partir del cual comenzara con los procesos de selección, mutación y cruce generándose internamente en cada una de las iteraciones conjunto de soluciones posibles P (2), P (3), P (4).....P(n), hasta que el proceso termine.

Durante todo este proceso como podemos darnos cuenta el algoritmo genético tiene y realiza lo siguiente:

- ✓ La función objetivo $f(x)$ la cual se desea optimizar.
- ✓ Un conjunto de posibles soluciones del vector X la cual fue determinada en forma aleatoria.
- ✓ Los procesos de selección, mutación y cruce para determinar nuevo conjunto de soluciones
- ✓ Parámetros que me da culminación del proceso iterativo.

La parte fundamental de este proceso iterativo para hallar nuestra solución, está en la generación de las nuevas poblaciones, en la cual los elementos llamados vectores o cromosomas que están formados por una cadena de bits de longitud (n) se someten a alteraciones por medio del cruce y la mutación para formar nuevas soluciones. Como mencionamos anteriormente el cruce tiene que

ver con el intercambio de segmentos de los cromosomas padres para formar dos hijos similares, en cambio la mutación con el intercambio de uno o más genes del cromosoma seleccionado. En el proceso de generación de estas nuevas soluciones el cruce es más utilizado que la mutación, ya que esta última se la utiliza con la finalidad de darle una mayor variabilidad a la población generada.

3.2.5 CRITERIOS DE DIVERSIFICACIÓN Y MEJORAS

Los Algoritmos Genéticos en su proceso iterativo deben tratar con una población de individuos o vectores también llamados cromosomas los cuales representan potenciales soluciones de nuestra función objetivo $f(x)$. A medida que se generan nuevas soluciones en el proceso iterativo, esta población va mejorando hasta obtener una solución al finalizar dicho proceso. Todo este proceso debe pasar por los operadores de selección cruce y mutación, donde la selección se la realiza con la finalidad de favorecer a la supervivencia de aquellos individuos con las mejores características posibles; en cambio el cruce y mutación crean nuevos individuos con ciertos genes de los padres a fin de recorrer regiones aun no exploradas.

Es aquí donde la diversidad población y selectividad se hacen presente, convirtiéndose en los dos factores más importantes en el proceso de búsqueda genética. La diversidad poblacional se refiere a los diferentes modelos genéticos presentes en la población ya que ha una mayor cantidad de modelos genéticos tendremos una mayor diversidad poblacional, en cambio la selectividad específicamente tendrá que ver con los tipos de operadores genéticos que utilicemos ya que mientras más se favorezca a los individuos con mejores aptitud tendremos una mayor presión selectiva y por lo tanto una mejora en las poblaciones generadas durante todo el proceso iterativo del Algoritmo Genético.

Como nos damos cuenta estos dos procesos están ligados fuertemente ya que un aumento en el tamaño de la Población provocara una disminución de la presión selectiva, en cambio un aumento en la presión selectiva ocasionada por las mejoras de los individuos ocasionado por los operadores de cruzamiento y mutación hará que la población tienda a converger a poblaciones derivadas con las características de los cromosomas de dichos individuos. Es por ello que hay que mantener el equilibrio a la hora de tomar como referencia el tamaño de la Población y a la vez con una mayor diversidad de individuos ya que de no ser así el proceso

de búsqueda se estanca y esto incidirá en los resultados obtenidos para el Algoritmo Genético.

3.2.6 MÉTODO PRINCIPAL DEL ALGORITMO

Todo Algoritmo Genético, en su parte interna debe realizar una serie de pasos establecidos con el objetivo de tratar de llegar a la mejor solución posible, es por ello que el mismo tiene una estructura principal la cual detallamos a continuación:

Desde $i = 1$ hasta N Generaciones

1. Generación de la Población Inicial
2. Cruce de algunos individuos
3. Mutación de algunos individuos
4. Selección de individuos para las nuevas generaciones

Fin.

Como se puede observar son procedimientos que ya fueron explicados previamente, con la finalidad de tratar de obtener una buena solución para el problema que se esté analizando.

3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO CON MÉTODOS EXACTOS

Algunos de los métodos exactos para resolver problemas de optimización son: SIMPLEX, ramificación y acotamiento, planos de corte. Estos algoritmos tienen la capacidad de entregar la solución óptima del problema, por lo que presentan serios inconvenientes en los tiempos de respuesta cuando los problemas que intentan resolver tienen una cantidad muy alta de variables. Incluso, se ha estimado para algunos problemas de gran complejidad, que los métodos exactos podrían tomar años e incluso siglos para poder encontrar la respuesta exacta al problema.

Por otro lado, las heurísticas y metaheurísticas, son métodos inexactos que pueden NO entregar la solución óptima del problema, pero pueden proporcionar una “buena” solución, es decir, una solución aceptable en términos prácticos y con buenos tiempos de respuesta. Los algoritmos genéticos son metaheurísticas que usan heurísticas dentro de sus fases o etapas, por lo que se trata de un tipo de método inexacto.

3.4 ANÁLISIS DE CONVERGENCIA

En todo Algoritmo Genético en su proceso se involucran ciertos elementos para poder llegar a la solución óptima del problema como son: la codificación del problema, el número de iteraciones y el tamaño de la población. Es importante tomar como punto de partida que si el tamaño

de la población es demasiado pequeña puede darse el caso que el Algoritmo no explore completamente el espacio de las posibles soluciones en vista que muy rápidamente hemos obtenido una posible solución así como su cambio genético es muy alto o no tenemos un proceso de selección adecuado que puede alterar el desarrollo del mismo, provocando que se produzca alguna convergencia.

Uno de los problemas más comunes que se pueden presentar en un Algoritmo Genético es lo que se llama la convergencia prematura, el cual se da cuando hemos seleccionado un individuo más apto que todos sus competidores provocando que se termine muy rápidamente la ejecución no permitiendo explorar completamente el espacio de solución y de esta manera determinar un óptimo local en vez de hallar el óptimo global que es lo que se busca cuando realizamos el proceso de optimización.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DSS

4.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

Se trata de una aplicación web de 3 capas desarrollada con ASP.NET como tecnología del lado del servidor para documentos HTML dinámicos.

El lenguaje de programación utilizado es C#.NET y la base de datos empleada es SQL Server de Microsoft. A continuación se explica el detalle de cada una de las capas del sistema:

4.2 CAPA DE PRESENTACIÓN

La capa de presentación es la encargada de tomar y presentar datos al usuario. Esta capa corre en un browser, que puede ser cualquiera de los navegadores tradicionales como Google Chrome, Internet Explorer, entre otros. El sistema se encarga de generar páginas web del lado del servidor, el código HTML generado se envía y “cae” del lado del cliente, y finalmente el navegador se encarga de mostrar el documento al usuario. Este código que llega al cliente también incluye funciones de JavaScript cuyo propósito es realizar pequeñas validaciones del lado del cliente. La capa de presentación solo tiene comunicación con la capa de negocios. [9].

4.3 CAPA DE NEGOCIOS

La capa de negocios es la columna vertebral de la aplicación web. Es la encargada de implementar la lógica de la aplicación. Para este trabajo de tesis, esta capa es la que contiene el algoritmo genético que resuelve el problema de optimización binario correspondiente. Esta capa es la más dura de implementar debido a la complejidad de cada una de las etapas del algoritmo genético. Está implementada en su totalidad con C#. Esta capa trabaja en conjunto con el framework .NET para que el contenido que es enviado al cliente sea formateado con HTML y JavaScript. Esta capa está en constante comunicación con la capa de presentación para

recibir las peticiones y mostrar los resultados, así como también esta capa de negocios se comunica con la capa de datos solicitando al gestor de la base de datos para que almacene o recupere datos de él así como también cualquier programa de aplicación.

4.4 CAPA DE DATOS

La capa de datos juega un papel fundamental dentro de la aplicación porque sirve de repositorio para almacenar los datos que forman parte del modelo matemático que define formalmente el problema de optimización que se desea resolver con el algoritmo genético. Se debe indicar que para la extracción de los datos NO se utilizan procedimientos almacenados, por el contrario, se usan sentencias SQL paramétricas enviadas desde la capa de negocios hacia el servidor de base de datos.

La aplicación web desarrollada, sin embargo, permite que el usuario también ingrese los datos del modelo directamente desde la interfaz gráfica.

La estructura de capas puede representarse de varias maneras como por ejemplo que todas estas tres capas se encuentren en un solo computador, pero como la capa de presentación es donde se realizan las peticiones por parte del usuario lo más lógico es que esta capa este formado por todos los usuarios que requieran comunicarse la capa de negocios siguiendo la arquitectura Cliente/Servidor.

Otra presentación de las capas es que la capa de negocios y de datos se encuentre en un solo ordenador con la posibilidad de que si hay un crecimiento en la capa de datos, esta puede separarse en varios ordenadores de tal manera que cuando la capa de negocios realice una petición a la capa de datos se direcciona al computador donde se encuentra dicha información.

Lo mismo puede darse con la capa de negocios, ya que al aumentar su complejidad estaríamos en la obligación de incrementar el número de ordenadores para dicha capa y por lo tanto realizar las peticiones a la capa de datos que de acuerdo a su complejidad podría estar almacenado en uno o varios ordenadores.

Cuando tenemos un sistema DSS podemos hablar de capas o niveles ya que capa se refiere a la segmentación del proceso en forma lógica, mientras que nivel se refiere a como esta segmentación lógica se encuentra distribuida físicamente.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

A continuación se presentan algunas aplicaciones en el mundo real de los problemas de optimización binarios. Cabe indicar que la aplicación web desarrollada en este trabajo de tesis tiene la capacidad de resolver todos ellos, pero realizando ajustes en el código. El algoritmo genético implementado soportaba inicialmente una restricción, y se aplicó al problema de los proyectos de inversión que se muestra más adelante. Se realizaron pruebas computacionales también con las demás aplicaciones reales presentadas en esta sección, agregando en el código las restricciones correspondientes. Este trabajo de tesis NO está orientado a medir la eficiencia del algoritmo genético, por eso no se realizaron experimentos con problemas que tengan un número importante de variables, por el contrario, se escogieron problemas con pocas variables pero que muestren diversidad respecto de las aplicaciones reales

que intentan resolver. En todos los casos, el algoritmo genético implementado proporcionó la respuesta exacta, a pesar de que se trata, en términos generales, de un método inexacto para resolver problemas de optimización.

5.1 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

Una empresa necesita asignar cuatro trabajos que recibió a cuatro empleados. Las diversas habilidades de estos dan origen a costos variados por el desempeño de los trabajos. La siguiente tabla resume los datos del costo de las asignaciones en dólares. Los datos indican que el empleado 1 no puede realizar el trabajo 3 y que el empleado 3 no puede realizar el trabajo 4. Determine la asignación óptima.

Datos del costo de las asignaciones en dólares

	Trabajo 1	Trabajo 2	Trabajo 3	Trabajo 4
Empleado 1	50	50	----- -	20
Empleado 2	70	40	20	30

Empleado 3	90	30	50	-----
Empleado 4	70	20	60	70

Tabla 1

SISTEMA DE ECUACIONES (VARIABLES BINARIAS) CON SU RESPECTIVA FUNCIÓN OBJETIVA A MINIMIZAR:

$$\text{MIN } 50X_{11} + 50X_{12} + 20X_{14} + 70X_{21} + 40X_{22} + 20X_{23} + 30X_{24} + 90X_{31} + 30X_{32} + 50X_{33} + 70X_{41} + 20X_{42} + 60X_{43} + 70X_{44}$$

S.T.

$$X_{11} + X_{12} + X_{14} = 1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} = 1$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} = 1$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} = 1$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} = 1$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} = 1$$

$$X_{23} + X_{33} + X_{43} = 1$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{44} = 1$$

END

INT 14

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 140.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	50.000000
X12	0.000000	50.000000
X14	1.000000	20.000000
X21	0.000000	70.000000
X22	0.000000	40.000000
X23	1.000000	20.000000

X24	0.000000	30.000000
X31	0.000000	90.000000
X32	1.000000	30.000000
X33	0.000000	50.000000
X41	1.000000	70.000000
X42	0.000000	20.000000
X43	0.000000	60.000000
X44	0.000000	70.000000
X21'	0.000000	0.000000

En este problema de asignación podemos ver la solución al problema que fue obtenida por medio del **SOLVER LINDO** lo cual nos da los siguientes resultados que origina la asignación óptima con la finalidad de minimizar los costos: para el empleado 1 el trabajo 4, para el empleado 2 el trabajo 3, para el empleado 3 el trabajo 2 y para el empleado 4 el trabajo 1 lo cual origina un costo de \$ 140.

5.2 PROBLEMA DE TRANSPORTE

Considere el problema de transporte que tienen la siguiente tabla de costos (en miles de dólares), ofertas y demandas (en decenas de unidades de un producto cualquiera).

Tabla de costo

		Destino				Recursos
		1	2	3	4	
Origen	1	3	7	6	4	5
	2	2	4	3	2	2
	3	4	3	8	6	3
Demanda		3	3	2	2	

Tabla 2

Determinar el costo mínimo para transportar dichas unidades

**SISTEMA DE ECUACIONES (VARIABLES ENTERAS) CON SU
RESPECTIVA FUNCIÓN OBJETIVA A MINIMIZAR:**

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 3X_{11} + 7X_{12} + 6X_{13} + 4X_{14} + 2X_{21} + 4X_{22} + 3X_{23} + 2X_{24} + 4X_{31} \\ & + 3X_{32} + 8X_{33} + 6X_{34} \end{aligned}$$

S.T.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} = 5$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} = 2$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} = 3$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} = 3$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} = 3$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} = 2$$

$$14 + X_{24} + X_{34} = 2$$

END

GIN 12

OBJECTIVE FUNCTION VALUE**1) 32.00000**

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	3.000000	3.000000
X12	0.000000	7.000000
X13	0.000000	6.000000
X14	2.000000	4.000000
X21	0.000000	2.000000
X22	0.000000	4.000000
X23	2.000000	3.000000
X24	0.000000	2.000000
X31	0.000000	4.000000
X32	3.000000	3.000000
X33	0.000000	8.000000

X34 0.000000 6.000000

En este problema de transporte utilizamos el software **SOLVER LINDO** pero con variables enteras, con la finalidad de ver la minimización de los costos para la transportación de las unidades en la cual se tuvo que ingresar un sistema de 7 ecuaciones y 12 incógnitas que nos da los siguientes resultados: desde el origen 1 al destino 1 transportamos 3 unidades, desde el origen 1 al destino 4 transportamos 4 unidades, desde el origen 2 al destino 3 transportamos 2 unidades y por ultimo del origen 3 al destino 2 transportamos 3 unidades, con lo cual tenemos el costo mínimo de transportar estas unidades dando como resultado un valor de \$ 32.

Es importante aclarar que en nuestro sistema DSS estamos utilizando algoritmos genéticos y nuestras variables son variables discretas es decir que estamos utilizando optimización binaria, por lo tanto significa que al resolver este problema de transporte con el software **SOLVER LINDO**, ya no tendríamos un sistema de 7 ecuaciones y 12 incógnitas sino más variables involucradas y a la vez un mayor número de ecuaciones debido que al escribir las ecuaciones cada una de las variables binarias involucrarían a tres parámetros como por ejemplo:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 ; & \text{si se envia } i \text{ unidades desde el origen } j \text{ al destino } k \\ 0 ; & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

5.3 PROBLEMA DE FINANZAS

Una compañía automotriz desea invertir fondos de capital en diversos proyectos que tienen requerimientos de capital para los próximos 4 años. Los recursos de capital de la compañía son y se debe los proyectos y presupuestos más rentables para realizar los gastos correspondientes. En la siguiente tabla se muestran los valores a la fecha de los proyectos, los requerimientos de capital y las estimaciones del capital disponible.

Valores actuales proyectado para la compañía

Proyecto	Valor actual (\$)	Requerimiento Año 1	Requerimiento Año 2	Requerimiento Año 3	Requerimiento Año 4
Ampliación de distribuidora	90000	15000	20000	20000	15000
Ampliación de la tienda	40000	10000	15000	20000	50000
Maquinaria	10000	10000	0	0	40000
Otros productos	37000	15000	10000	10000	10000

Fondos de capital disponibles	4000	5000	4000	3500
	0	0	0	0

Tabla 3

SISTEMA DE ECUACIONES (VARIABLES BINARIAS) CON SU RESPECTIVA FUNCIÓN OBJETIVA A MINIMIZAR:

$$\text{MAX } 90X_1 + 40X_2 + 10X_3 + 37X_4$$

S.T.

$$15X_1 + 10X_2 + 10X_3 + 15X_4 < 40$$

$$20X_1 + 15X_2 + 10X_4 < 50$$

$$20X_1 + 20X_2 + 10X_4 < 40$$

$$15X_1 + 5X_2 + 4X_3 + 10X_4 < 35$$

$$X_1 < 1$$

$$X_2 < 1$$

$$X_3 < 1$$

$$X_4 < 1$$

END

INT 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE1) **140.0000**

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.000000	-90.000000
X2	1.000000	-40.000000
X3	1.000000	-10.000000
X4	0.000000	-37.000000

En este problema de finanzas podemos ver la solución al problema que fue obtenida por medio del **SOLVER LINDO** lo cual nos da los siguientes resultados: la maximización del financiamiento se obtiene cuando los fondos de capital se los utiliza en: ampliación de la distribuidora, ampliación de la tienda y maquinarias, observando que no es beneficioso financiar en otros productos obteniendo réditos por un valor de \$ 140000.

5.4 PROBLEMA DE MARKETING

Una compañía está planeando una estrategia de publicidad a implementarse el año próximo para sus tres productos más importantes. Se dispone de un total de 6 millones de dólares para esta compañía de publicidad y se supone que el gasto para cada producto deberá ser un número entero mayor o igual a uno. El vicepresidente de mercadotecnia ha establecido el objetivo que sigue: determinar cuánto gastar en cada producto con el fin de maximizar las ventas totales. La siguiente tabla da un incremento estimado en ventas (en miles de unidades) para los diferentes gastos en publicidad:

Incremento estimado en ventas para los gastos en publicidad:

Gastos en publicidad	Producto		
	1	2	3
1	7	4	6

2	10	8	9
3	14	11	13
4	17	14	15

Tabla 4

SISTEMA DE ECUACIONES (VARIABLES BINARIAS) CON SU RESPECTIVA FUNCIÓN OBJETIVA A MINIMIZAR:

$$\text{MAX } 7X_{11} + 4X_{21} + 6X_{31} + 10X_{12} + 8X_{22} + 9X_{32} + 14X_{13} + 11X_{23} + 13X_{33} + 17X_{14} + 14X_{24} + 15X_{34}$$

S.T.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} = 1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} = 1$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} = 1$$

$$X_{11} + 2X_{12} + 3X_{13} + 4X_{14} + X_{21} + 2X_{22} + 3X_{23} + 4X_{24} + X_{31} + 2X_{32} + 3X_{33} + 4X_{34} < 6$$

END

INT 12

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 28.00000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	1.000000	-7.000000
X21	0.000000	-4.000000
X31	0.000000	-6.000000
X12	0.000000	-10.000000
X22	1.000000	-8.000000
X32	0.000000	-9.000000
X13	0.000000	-14.000000

X23	0.000000	-11.000000
X33	1.000000	-13.000000
X14	0.000000	-17.000000
X24	0.000000	-14.000000
X34	0.000000	-15.000000

En este problema de marketing podemos ver la solución al problema que fue obtenida por medio del **SOLVER LINDO** lo cual nos da los siguientes resultados: la maximización de las ventas se obtiene invirtiendo en el producto 1 con gastos en publicidad del tipo 1, en el producto 2 con gastos de publicidad del tipo 2 y en el producto 3 con gastos de publicidad del tipo 3 obteniendo una ganancia neta \$ 28000 (miles de dólares).

5.5 PROBLEMA DE PROYECTOS

En una empresa Europea hay la posibilidad de invertir en cuatro proyectos, y se tiene disponible como presupuesto \$1000 (en miles de dólares). La inversión que se haga para cada proyecto según el gerente de la empresa en cada uno de los productos debe ser como máximo según se indica en la tabla. Determine en cuál de ellas es posible invertir para maximizar las ganancias.

Inversión máxima en cada producto

	Proyectos (en miles de dólares)			
	P1	P2	P3	P4
Inversión	500	600	400	550
Ganancias	1750	2000	1500	1900

Tabla 5

SISTEMA DE ECUACIONES (VARIABLES BINARIAS) CON SU RESPECTIVA FUNCIÓN OBJETIVA A MINIMIZAR: 2

$$\text{MAX } 1750X_1 + 2000X_2 + 1500X_3 + 1900X_4$$

S.T.

$$500X_1 + 600X_2 + 400X_3 + 550X_4 < 1000$$

$$X_1 < 1$$

$$X_2 < 1$$

$$X_3 < 1$$

$$X_4 < 1$$

END

INT 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) **3500.000**

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	-1750.000000
X2	1.000000	-2000.000000
X3	1.000000	-1500.000000
X4	0.000000	-1900.000000

Como podemos ver la solución al problema fue obtenida por medio del **SOLVER LINDO** lo cual nos da los siguientes resultados: la maximización de las ganancias se obtiene invirtiendo solamente en los proyectos 2 y 3 obteniendo una ganancia neta \$ 3500 (miles de dólares).

Una vez que hemos realizado las pruebas de los diferentes modelos de los problemas de aplicaciones del mundo real con el software SOLVER LINDO, vamos a realizar una prueba con el algoritmo genético desarrollado en esta tesis para comprobar que la solución que nos dará nuestra aplicación será muy cercana a la óptima o completamente igual,

ya que la misma dependerá de los parámetros importantes que se ingresan al ejecutar la aplicación.

Utilizando como ejercicio de prueba en el software desarrollado el problema de proyectos, realizaremos los siguientes pasos:

1. Ingresar a la aplicación de Microsoft Visual Studio Express 2013 for Web tal como se muestra en la Fig. 5.1.



Figura 5.1

Aplicación de Microsoft Visual Studio Express 2013 for Web

2. Hacer click en la pestaña File y dirigirse a la pestaña Recent Projects and Solutions y hacer click donde se encuentra nuestra aplicación en el computador tal como se muestra en la fig.5.2

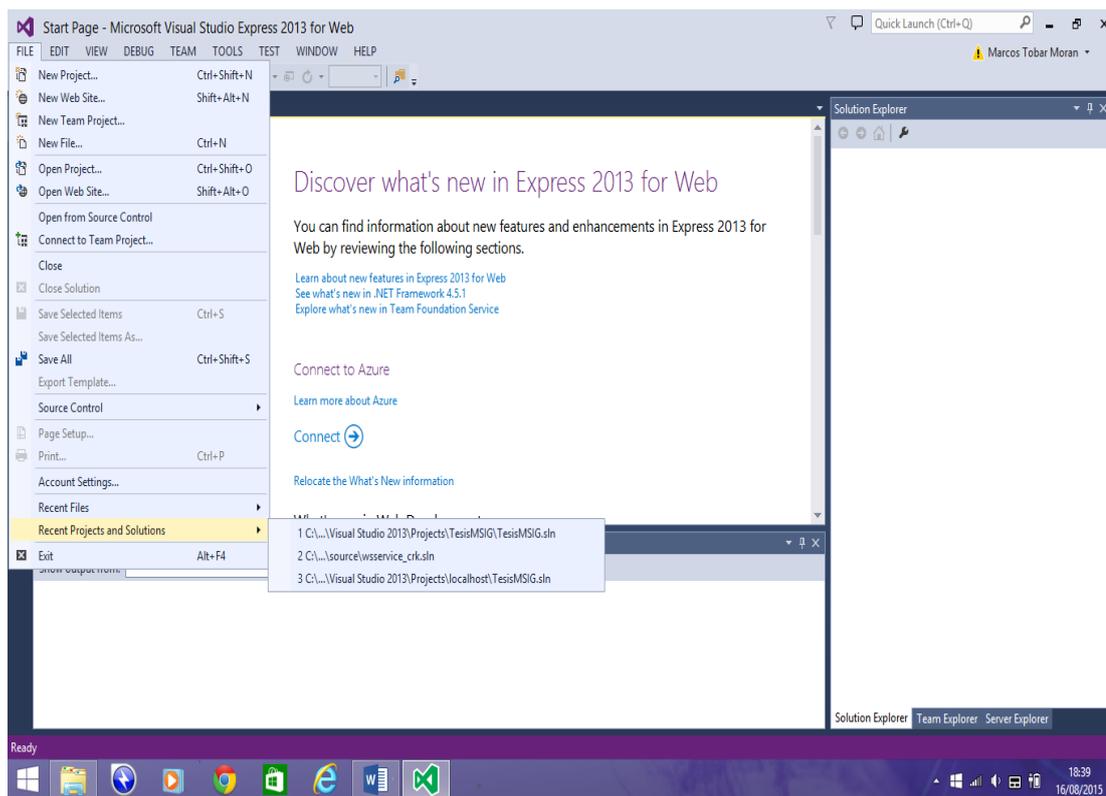


Figura 5.2

Aplicación que se va ejecutar en el computador

3. Automáticamente se carga el proyecto en Microsoft Visual Studio Express 2013 for Web tal como lo muestra la Fig. 5.3.

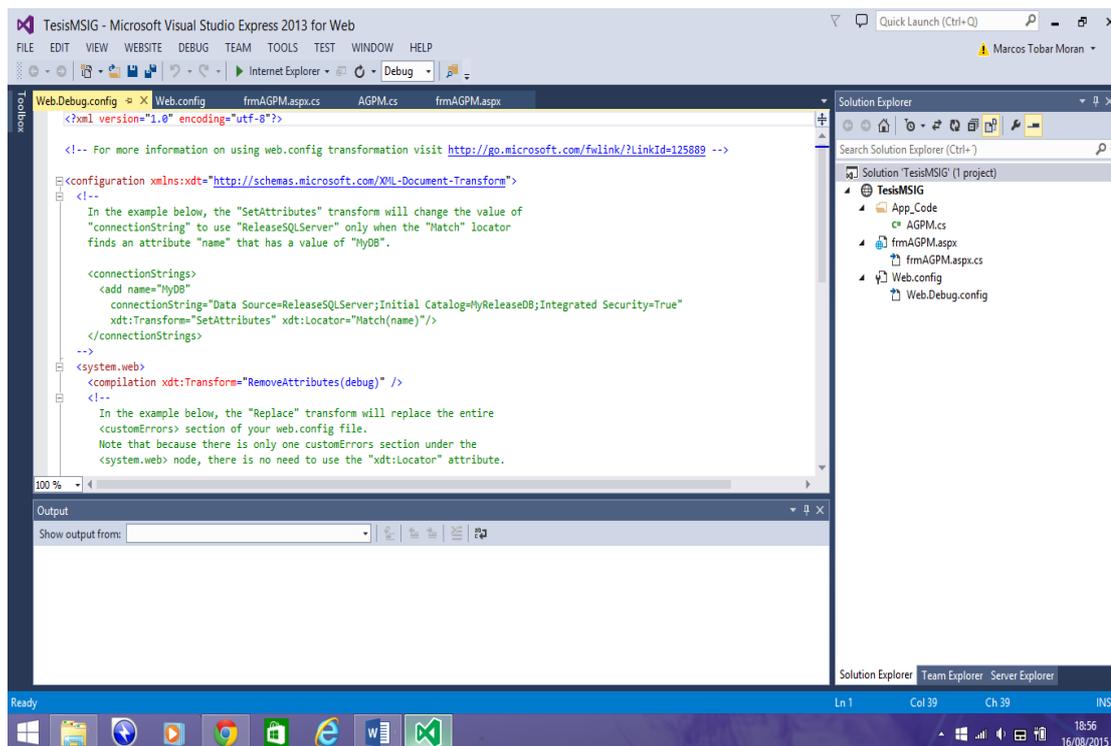


Figura 5.3

Aplicación desarrollada lista para la ejecución

4. Al hacer click en Internet Explorer se ejecuta la aplicación mostrando la siguiente pantalla de la fig. 5.4.

Algoritmo Genético Problemas Binarios

Tesis Ing. Marcos Tobar MSIG

Tamaño de la n-tupla	20
Número de Individuos por Generación	100
Número de Generaciones	50
Peso de la Mochila	51

Costo Beneficio Agregar Limpiar

- 3-7
- 6-14
- 4-8
- 1-5
- 4-10
- 5-12
- 9-20
- 6-15
- 1-8
- 7-11

Ejecutar

Figura 5.4

Pantalla principal de ingreso de datos de acuerdo al problema a optimizar

5. En la nueva pantalla presentada ingresar todos los parámetros necesarios para determinar la solución a nuestro problema de optimización como son:
 - a. Tamaño de la n-tupla
 - b. Número de individuos por generación
 - c. Numero de generaciones
 - d. Peso de la mochila

e. Costos y beneficios

844/frmAGPM.aspx localhost

Bienvenido a Diners Club ... CISC - CINT

Algoritmo Genético Problemas Binarios

Tesis Ing. Marcos Tobar MSIG

Tamaño de la n-tupla	4
Número de Individuos por Generación	20
Número de Generaciones	10
Peso de la Mochila	1000

Costo 550 Beneficio 1900

500-1750
600-2000
400-1500
550-1900

Figura 5.5

Pantalla con ingreso de datos para ejecutar

- Realizar la ejecución y mostrar la solución en este caso particular para el problema de proyectos tenemos:

Mejor Individuo = 0110, Mejor Valor = 3500

Figura 5.6

Pantalla de resultados

Al variar los parámetros, la solución presentara pequeños cambios en las cercanías del punto óptimo en vista de que o bien tenemos una población demasiado pequeña o el número de generaciones de población es muy pequeño pudiendo caer la solución en un óptimo no deseado prematuramente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las metaheurísticas son técnicas de resolución de procedimientos matemáticos inexactos al obtener una solución comparado con los métodos exactos, pero de mucha valía ya que a medida que se presentan problemas de mayor complejidad o dificultad las metaheurística nos podrán dar soluciones en tiempos razonables, en cambio los métodos exactos debido a la dificultad del problema pueden tardar mucho tiempo en darnos una solución.
2. En la vida diaria las empresas deberían tener aplicativos de este tipo ya que de una manera ágil y razonable podrían determinar la solución a problemas muy comunes del tipo de finanzas, marketing, selección de proyectos etc. logrando de esta manera optimizar sus recursos.

3. Es importante que las empresas tomen en consideración los modelos matemáticos de optimización aplicando técnicas metaheurísticas ya que cualquier tipo de problema que se les presente en cuanto a optimización de recursos se lo podrá modelar utilizando estas técnicas disponibles.
4. Debido al avance de la tecnología y en especial a los equipos de cómputo en cuanto a su capacidad de procesamiento de información, la técnica de la metaheurística sería mucho más favorable para determinar las soluciones a casos prácticos ya que debido a su complejidad de la modelación matemática para situaciones en que se maneja un número considerable de variables la respuestas serian en espacios de tiempo razonables.
5. En líneas generales la implementación de técnicas metaheurísticas como los algoritmos genéticos por medio de optimización binaria involucra varias etapas de diseño por lo que la modelación de cualquier problema real tiene su grado de dificultad y complejidad.
6. Sería muy importante aplicar las diferentes técnicas que hay en la metaheurísticas, de tal manera de poder comparar los tiempos de respuesta a casos reales y de esta manera determinar cuál es el método más apropiado en obtener respuestas muy cercanas a la óptimas con una mayor rapidez y eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. *Herramientas Tecnológicas para Administración el Conocimiento*. **Valerio, Gabriel**. 2002, Tecnológico de Monterrey, págs. 19-21.
- [2]. **Gil, Alberto**. Diseño y Verificación de Sistemas Distribuidos mediante la Aplicación Combinada de métodos formales. s.l., España : Universidad de Vigo, 1999.
- [3]. **Gutiérrez, Jose**. Planificación, Análisis y Optimización de Sistemas Distribuidos de Tiempo Real Estricto . Santander : Universidad de Cantabria, 1995.
- [4]. **Polo, Macario y Villafranca, Daniel**. Introducción a las Aplicaciones Web con Java. s.l. : ESI-UCLM, s/f.
- [5]. **García , Jose y Maheut, Julien**. Modelos y Métodos de Investigación de operaciones. Procedimientos para Pensar. 2011/2012.
- [6]. **Román , Hugo**. Solución de problemas de optimización mediante algoritmos genéticos aplicando computo de alto rendimiento. Tijuana, Mexico : s.n., 2011.
- [7]. **Arranz, Jorge y Parra, Antonio**. Algoritmos Genéticos. s/f.
- [8]. **Morales, Joel**. Un algoritmo híbrido para la optimización en paralelo de problemas continuos. Agosto de 2012.

- [9]. **Laudon, Kenneth y Laudon, Jane.** *Sistemas de Información Gerencial.* Naulcanpan de Juarez , Estado de Mexico : Pearson Educación, 2012.
- [10]. *Los Sistemas de Información: una reflexión sobre información, Sistema y documentación .* **Tramullas, Jesús.** 1997, Revista General de Información y Documentación, págs. 207-229.
- [11]. *Modelo y Sistema de Apoyo a la decisión para problemas de cartera de proyectos con relevancia social.* **Fernández, Eduardo y Navarro, Jorge.** 2001, Gestión y Política Pública, págs. 41-52.