



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

**Ingeniería en Logística y Transporte**

“Diseño de una heurística para la calendarización de actividades en una empresa de repuestos automotrices”

**Informe del proyecto de graduación  
(dentro de una materia de la malla)**

**Previa a la obtención del Título de:**

Ingeniera en Logística y Transporte

**Presentado por:**

Zapata Alarcón Sonnia Verónica

Guayaquil- Ecuador

2015

## **Agradecimiento**

Doy gracias a Dios por guiarme y ayudarme a culminar mi carrera. Gracias también a la Espol por recibirme en sus aulas y prepararme para la vida. A mis profesores que me enseñaron y me tuvieron paciencia, en especial al ingeniero Guillermo Baquerizo por su acertada dirección en este proyecto, al ingeniero Erwin Delgado y al ingeniero Xavier Cabezas, por todas sus enseñanzas impartidas dentro de sus clases. Finalmente a mis queridos compañeros y compañeras que me han apoyado de forma incondicional.

# Dedicatoria

A mis padres:

Sr. Luis Zapata Guzmán

Sra. Sonia Alarcón Vergara

A mi hermano:

Luis Zapata Alarcón

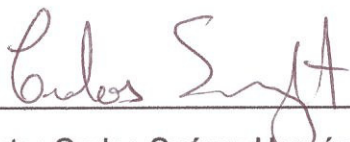
Muy especial para mi querida amiga Nena Pérez Intriago quien me ayudo y me inspiro en mis noches de desvelo, quien siempre estuvo junto a mí regalándome su compañía.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Máster Guillermo Baquerizo Palma

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN  
(dentro de una materia de la malla)



Máster Carlos Suárez Hernández

DELEGADO



## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe del Proyecto de Graduación (dentro de una materia de la malla), me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



**Sonia Verónica Zapata Alarcón**



# Resumen

Para el presente proyecto, la empresa objeto de estudio se encuentra ubicada en Guayaquil y se dedica a la venta de repuestos automotrices, la cual presenta problemas en el segmento de abastecimiento interno de repuestos, debido a errores humanos.

Esta situación genera diversos problemas dentro de la empresa tales como: sobre pedidos, códigos de repuestos cambiados, variaciones entre el inventario físico y el inventario digital.

La asignación del personal para desarrollar las diferentes tareas de almacenamiento se realiza de forma empírica, lo cual no resulta ser apropiado para las necesidades de la empresa, ya que se debería elegir a la persona indicada para que cualquier actividad sea desempeñada de manera eficiente y eficaz.

Por esta razón, en este proyecto se plantea la calendarización automatizada de actividades, la cual muestre la asignación de actividades en los tiempos que sean pertinentes para su desarrollo, adjuntando una asignación de mano de obra, las cuales serán tomadas como soluciones iniciales para

posteriormente ser incorpóralas dentro del algoritmo genético, el que optimizará los resultados para el beneficio de la empresa.

# Abstract

In this project, the company under study is located in Guayaquil and engages in sales of automotive parts, which presents some problems with the segment that deals with internal supply of replacements, due to human error.

This situation generates several problems in the enterprise such as: over-ordering, replacements codes changed, inaccuracies between physical and digital inventory.

The assignment of the staff to develop different storage related tasks is done empirically, which could result not being appropriate for the requirements and needs of the enterprise, since it should be selected the most apt person so any activity can be performed effectively and efficiently.

For this reason, in this project it has been proposed the automatic scheduling of activities, which will show the assignment of tasks in due time for its development while integrating the assignment of manpower, which will be taken as initial solutions to be later incorporated in the genetic algorithm, that will generate optimal solutions for the enterprise.



# Índice General

Agradecimiento .....	II
Dedicatoria.....	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN .....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA .....	V
Resumen .....	VI
Abstract.....	VIII
Abreviaturas.....	XIII
Índice de Tablas.....	XV
Índice de Ilustraciones .....	XVI
Glosario de términos.....	XVII
Introducción .....	XX
CAPÍTULO 1	
Antecedentes y Justificación.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción de la Problemática .....	2
1.3. Justificación del Proyecto .....	4
1.4. Hipótesis de Trabajo.....	5

1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General .....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5

## CAPÍTULO 2

Marco Teórico .....	7
2.1. Estado del Arte .....	8
2.2. Revisión de Literatura.....	10
2.3. Técnicas de Optimización Exactas .....	11
2.3.1. Programación Lineal .....	11
2.3.2. Programación Entera y Mixta .....	12
2.4. Técnicas de Optimización de Aproximación .....	12
2.4.1. Heurísticas .....	12
2.4.2. Metaheurísticas.....	13
2.5. Optimización Combinatoria.....	15
2.6. Calendarización .....	15
2.6.1. Tipos de Problemas de Calendarización .....	16
2.6.2. Problemas de Calendarización Puros .....	16
2.6.3. Problema de Asignación .....	17
2.7. Algoritmos Evolutivos .....	18

2.7.1. Clasificación de los Algoritmos Evolutivos .....	20
2.7.2. Algoritmo Genético .....	20
2.8. Diagrama de Gantt .....	22

### CAPÍTULO 3

Metodología de Trabajo .....	25
3.1. Flujograma del Trabajo.....	25
3.2. Flujo de Información .....	28
3.3. Área seleccionada para el Desarrollo del Proyecto .....	30
3.3.1. Definición de las Actividades .....	32
3.4. Cronograma de Actividades .....	33
3.5. Organigrama de la Empresa.....	34
3.6. Proceso de Abastecimiento .....	39
3.7. Selección de Datos.....	42
3.7.1. Horas Disponibles.....	43
3.7.2. Duración de las Actividades de Abastecimiento .....	44
3.8. Desarrollo de la Solución Inicial.....	44
3.9. Desarrollo del algoritmo genético .....	48

### CAPÍTULO 4

Análisis de resultados .....	52
------------------------------	----

4.1. Ajuste de Parámetros .....	52
4.1.1. Prueba de Número de Generaciones .....	52
4.1.2. Prueba de Porcentajes.....	52
4.2. Análisis de Resultados .....	53
4.2.1. Tiempo de Respuesta del Algoritmo .....	56
4.3. Soluciones al Problema de Calendarización .....	56
4.4. Comparación de la Situación Actual con la Propuesta .....	60
CAPÍTULO 5	
Conclusiones y Recomendaciones .....	64
5.1. Conclusiones .....	64
5.2. Recomendaciones.....	66
Referencias Bibliográficas .....	68
Anexos .....	70
Anexo 1 Secuencia de Actividades independientes y dependientes .....	71
Anexo 2 Resultados del algoritmo genético en Wolfram Mathematica 9.1 .....	72

# Abreviaturas

<b>AG</b>	Algoritmo Genético.
<b>FO</b>	Función objetivo.
<b>FSS</b>	Flow shop scheduling. Problema del flujo de trabajo.
<b>JSS</b>	Job shop scheduling. Problema de secuenciación.
<b>OSS</b>	Open shop scheduling. Problema de secuenciación de la producción.
<b>PFSS</b>	Permutual flow shop scheduling. Problema de secuenciación de forma general.

<b>TTP</b>	Time Tabling Problem. Problemas de horarios.
<b>NG</b>	Numero de generaciones

# Índice de Tablas

TABLA 2.1. CALENDARIZACIÓN DE ACTIVIDADES .....	23
TABLA2.2. CALENDARIO DE ACTIVIDADES .....	23
TABLA 3.1. PUNTUACIÓN DE HABILIDADES .....	42
TABLA3.2. DURACIÓN DE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES .....	44
TABLA 3.3. ACTIVIDADES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES .....	45
TABLA 4.1. PORCENTAJE DE MUTACIÓN Y RECOMBINACIÓN .....	53
TABLA 4.2. TIEMPO DE OPERACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO .....	56

# Índice de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE BÚSQUEDA .....	14
ILUSTRACIÓN 2.2. SEUDOCÓDIGO DE LOS ALGORITMOS EVOLUTIVOS .....	19
ILUSTRACIÓN 2.3. ESTRUCTURA GENERAL PARA LOS ALGORITMOS EVOLUTIVOS ...	19
ILUSTRACIÓN 2.4. SEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO GENÉTICO CLÁSICO .....	22
ILUSTRACIÓN 3.1. FLUJOGRAMA DE TRABAJO .....	27
ILUSTRACIÓN 3.2. FLUJO DE INFORMACIÓN .....	29
ILUSTRACIÓN 3.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	34
ILUSTRACIÓN 3.4. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA .....	39
ILUSTRACIÓN 3.5. SEUDOCÓDIGO PARA LA GENERACIÓN DE SEMANAS .....	46
ILUSTRACIÓN 3.6. SEUDOCÓDIGO PARA LA ASIGNACIÓN .....	47
ILUSTRACIÓN 3.7. SEUDOCÓDIGO PARA LA COLOCACIÓN DE LOS PESOS .....	48
ILUSTRACIÓN 4.1. COMPARACIÓN DE PORCENTAJES CON DIFERENTES PARÁMETROS .....	54
ILUSTRACIÓN 4.2. GRAFICA DE SOLUCIONES EN 15 CORRIDAS.....	55
ILUSTRACIÓN 4.3. CALENDARIO PARA SEMANA 1 .....	57
ILUSTRACIÓN 4.4. ASIGNACIÓN DE MANO DE OBRA .....	57
ILUSTRACIÓN 4.5. CALENDARIO PARA LA SEMANA 2 CON DOBLE ASIGNACIÓN DE PERSONAL .....	59



# Glosario de términos

## B

### **Backtracking**

Es una estrategia para encontrar soluciones a problemas que satisfacen restricciones.

## H

### **Hipermutación:**

Cambios sucesivos sobre un gen ya mutado.

## M

### **Mutación:**

Cambio repentino o permanente en la estructura genética de un individuo.

## P

**Picking:**

Proceso de recogida de material extrayendo unidades o conjuntos empaquetados de una unidad de empaquetado superior que contiene más unidades que las extraídas. En general, el proceso en el que se recoge material abriendo una unidad de empaquetado.

## S

**Stock:**

Conjunto de productos almacenados dispuestos para la venta.

**Stock-Out:**

Ruptura de stock. Momento en el que se agota el stock disponible pudiendo paralizarse la actividad de la empresa.

# T

**Task1:**

Nombre que se asigna a la actividad inicial.

**Tecnicentro**

Centro técnico de la empresa, para enderezamiento de cabezales y correcciones de cigüeñales.

# Introducción

La elaboración de un calendario de actividades de control y mantenimiento de inventarios dentro de una empresa es importante puesto que permite organizar, ejecutar, monitorear los diferentes procesos, determinar tiempos de ejecución, recursos asignados (maquinas, materiales, personas) y el orden en el que deben desarrollarse.

En este trabajo de titulación se busca principalmente la resolución a un calendario de control, el cual está clasificado como un problema de TimeTabling. La información requerida es: empleados, habilidades, tiempos, disponibilidades, entre otras.

Los problemas de calendarización consisten, en generar horarios para tareas definidas, buscando cumplir de la mejor manera con condiciones y requerimientos específicos. [6]

Para encontrar una solución factible, se debe primero fijar un horizonte de planeación el cual será de una semana, detectar las horas de poco movimiento para los empleados, determinar las actividades e identificar su secuencia y la disponibilidad de los empleados.

El problema está en asignar las diferentes actividades en un marco de 5 días por semana y dentro de 5 horas diarias, con la asignación óptima de los

empleados evitando que uno solo realice todas las actividades, puesto que deben desempeñar más cargos y deberes dentro de la organización.

# **CAPÍTULO 1**

## **Antecedentes y Justificación**

En este capítulo se realizará una descripción de la empresa en la cual se realizará el estudio, se analizarán sus problemas, se detallaran los objetivos específicos y generales del presente trabajo de titulación.

### **1.1. Antecedentes**

La empresa en la cual se realizará el estudio se dedica a la comercialización de repuestos automotrices tanto japoneses como americanos.

Esta empresa inició en 1991, situándose en el centro de Guayaquil. El local con el que se inició era pequeño y los propietarios no tenían conocimiento del negocio al cual trataban de ingresar, por esa razón se realizaban las actividades de abastecimiento, almacenamiento y venta de manera artesanal.

El lugar donde se encuentra situada actualmente es una zona de gran movimiento de repuestos para autos, por lo que se contrataron personas de la zona, que poseían algo de conocimiento del negocio para que los ayude con su creciente empresa.

Hace cuatro años se realizó la primera importación, y gracias a un convenio los gerentes de marcas japonesas (Tokiko, 555) llegaron al local a observar el flujo del negocio y ésta fue su catapulta para realmente pensar en realizar cambios grandes en beneficio del negocio.

Actualmente siguen realizando sus operaciones en el mismo lugar y cuentan con un de 30 personas distribuidos en las diferentes áreas de la empresa.

Y hasta el día de hoy la demanda de la empresa sigue incrementándose, pero las tareas previamente definidas y asignadas de forma empírica le están ocasionando ciertos problemas en el inventario, estos inconvenientes serán detallados en la siguiente sección.

## **1.2. Descripción de la Problemática**

Los inconvenientes que se presentan dentro de la empresa son de irregularidades en el manejo y control de su inventario debido a la política de trabajo de los empleados, ya que no realizan las actividades que les fueron asignadas por motivos no analizados por la empresa, como son la disponibilidad de tiempo y sus habilidades para el desarrollo de estas.

Algunos de los inconvenientes generados por la falta de disciplina de los empleados son:

- ✓ Desorden de los repuestos
- ✓ Sobre pedidos
- ✓ Repuestos incompletos

- ✓ Códigos cambiados
- ✓ Repuestos sin identificación

Estos errores humanos generan otros inconvenientes tales como:

- ✓ Retrasos en el despacho
- ✓ Confusiones de repuestos
- ✓ Mal servicio al cliente
- ✓ Inconsistencias ente el inventario físico y el digital
- ✓ Devoluciones
- ✓ Obsolescencia de los repuestos

Los repuestos incompletos y el stock-out surgen como resultado del envío no planificado de repuestos al tecnicentro; ya que en muchas ocasiones la mercadería es enviada sin notificar que se ha realizado esta acción.

Las tareas mal asignadas también contribuyen al desorden, debido a que no se toman en cuenta las habilidades de los empleados para la ejecución de estas, pues no han sido debidamente capacitados, retrasando así el resto de actividades que se deben desempeñar. Tanto en el inventario físico y en las existencias digitales manejados por el software GENESIS Administrativo, existe discrepancias en sus niveles de inventario, mientras en el software mantiene valores negativos para un repuesto en particular en perchas existe mercadería o viceversa.



### **1.3. Justificación del Proyecto**

El correcto manejo del inventario es fundamental puesto que es la sección en la que se centra la mayor parte de las inversiones para cualquier entidad, ahí se encuentra la importancia de un buen manejo y control del mismo.

Al contar con un buen control de inventario, los primeros beneficiados son los clientes, ya que recibirán sus pedidos a tiempo, y esto repercute de forma positiva en el nivel de servicio; la empresa se beneficia a su vez por la ganancia generada debido a la venta realizada, otro beneficio es que las mercaderías no pasen mucho tiempo en las perchas, puesto que un artículo que no tiene rotación es dinero ocioso y tendría una alta posibilidad de que su vida útil termine.

Cuando se realiza la toma de inventarios, se organiza y se consiguen ahorros en el mantenimiento de mercadería acumulada, la cual podría ser vendida disminuyendo los costos de los servicios básicos y seguros.

Por lo tanto, se necesitan soluciones a este conjunto de problemas y se recurrirá al uso de un algoritmo evolutivo llamado algoritmo genético el cual resolverá ofrecerá soluciones para la calendarizaciones automatizadas en donde se pretende mostrar las diferentes tareas en intervalos de tiempo adecuados para sus respectivas ejecuciones, sumando a esto una reorganización de la mano de obra.

La propuesta es viable puesto que la elaboración de un calendario de actividades contendrá los trabajos de mantenimiento que serán realizados por los empleados, teniendo en cuenta sus habilidades y disposiciones de tiempo.

#### **1.4. Hipótesis de Trabajo**

Con la incorporación de un calendario de actividades se crearía una cultura de trabajo mediante la cual se mejoren los hábitos diarios de trabajo de los empleados reduciendo el tiempo de almacenaje de los productos, y a largo plazo, las falencias del inventario lleguen a ser mínimas.

#### **1.5. Objetivos**

Se presentan a continuación el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.

##### **1.5.1. Objetivo General**

- ✓ Diseñar un calendario actividades de mantenimiento y control de inventario, que se ajuste a las necesidades de una empresa dedicada a la venta de repuestos automotriz, mediante un proceso de optimización metaheurística empleando algoritmos evolutivos.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Definir las actividades de mantenimiento y control a calendarizar que serán utilizadas para la obtención de una solución inicial.

- ✓ Definir una solución inicial mediante la resolución del problema de calendarización.
- ✓ Diseñar un algoritmo genético que reciba solución inicial, para posteriormente configurar los parámetros y optimice los diferentes resultados que se obtendrán.
- ✓ Reasignar la mano de obra, respetando restricciones de habilidades y disposición de tiempos.
- ✓ Comparar la situación actual y la propuesta para observar las ventajas y desventajas del conjunto de soluciones obtenidas y seleccionar la calendarización y asignación que más se ajuste a lo que la empresa necesita.

# CAPÍTULO 2

## Marco Teórico

En este capítulo se analizará el material leído para formar una base teórica sobre los métodos que serán utilizados para encontrar una solución viable para el problema de calendarización de este proyecto.

Se describirá los tipos de calendarizaciones que existen y se escogerá el que se ajuste a las restricciones de horarios, habilidades y disponibilidades de tiempo.

Existen técnicas exactas y técnicas de aproximación, de esta última se eligió un algoritmo correspondiente al grupo de los algoritmos evolutivos; se hace mención de los diferentes tipos de sistemas evolutivos y se ampliarán los conceptos correspondientes al algoritmo genético, el cual es el punto principal de este estudio.

Se hablará sobre la forma para representar los calendarios por medio del diagrama de Gantt, lo cual se verá más adelante.

Y para entrar en el contenido de este capítulo se escribirá sobre el estado del arte, el cual contiene pequeños resúmenes de tesis relacionadas a este trabajo.

## 2.1. Estado del Arte

Este trabajo [8] fue desarrollado para optimizar las actividades de secuenciamiento de producción y asignación de mano de obra en una empresa manufacturera. Estas tareas se realizaban de forma manual y tomaban 2 días de trabajo a la semana.

Las restricciones tomadas en cuenta principalmente para la planificación fueron:

- ✓ Número de personal disponible
- ✓ Ingreso de materia prima fresca
- ✓ Horas hombre necesarias por día

Se implementó el algoritmo genético para resolver el problema de secuenciación y se utilizó un mecanismo para explorar la población para la selección de la mejor solución. La rápida ejecución permitió al planificador de producción realizar varios escenarios y compararlos con los problemas que ocurran cada día. En uno de los casos se pudo comparar que el algoritmo propuesto disminuyó el makespan en 60% del valor que se obtenía de forma tradicional. Con la implementación del algoritmo se esperó un ahorro de \$143.000,00 al año por reducción de horas extras al personal de la planta. En

En el trabajo [7] se presentó un algoritmo genético con función de penalización para el problema de estaciones de trabajo. Al algoritmo genético clásico se le

realizó una modificación en el proceso de selección por una selección clonada basada en una hipermutación y un lapso de vida extendido. Para el proceso de hipermutación se debió contar con una base clonada y un conjunto de cromosomas élite para ser copiados en la base, después estos cromosomas se reproducirían con ellos mismos hasta que la base sea llenada. Los cromosomas de esta base clonada debían tener una tasa de mutación alta y por último se debieron reemplazar los malos cromosomas en la población original y los mejores en la base clonada. Posteriormente esta base clonada fue evaluada. Durante el proceso de búsqueda, la función adaptativa de penalización fue diseñada de manera que el algoritmo pueda buscar en ambas regiones factibles y no factibles del espacio de soluciones simulado los experimentos se llevaron a cabo en 23 casos de referencia tomados de la O - biblioteca. Los resultados muestran la eficacia del algoritmo propuesto.

En el trabajo [3] al cual se hace referencia, el objetivo fue programar los tiempos de los profesores y las clases para utilizar plenamente los recursos disponibles. Esto se hizo mediante la asignación de tiempo y lugar correcto para un evento apropiado, por tanto, el calendario fue diseñado para satisfacer todas las necesidades de los usuarios. Las restricciones de horarios son muchas y variadas. En esta investigación, se aplicó el enfoque de algoritmo genético para la resolución de problemas de horarios de cursos universitarios. El algoritmo genético clásico fue el método para hacerle frente a duros problemas de búsqueda y optimización que proporcionaron una buena

solución aunque requerían gran tiempo de ejecución, demostraron que los algoritmos genéticos eran un potente método para la resolución de estos problemas.

En el trabajo [2], se resolvió el problema de asignación de turnos de trabajo para los empleados. Se describió un algoritmo de búsqueda llamado búsqueda tabú. La solución para la asignación de funciones fue que cada empleado supiese cuando debe trabajar y en que tarea. La propuesta fue innovadora y existió cierto margen de error que puede ser mejorado, mediante el aumento de restricciones que garantizarían búsquedas de calidad. La complejidad del problema radicó en las preferencias y disposición que tenían los empleados a ciertas tareas.

## **2.2. Revisión de Literatura**

Los problemas de calendarización o TimeTabling problema (TTP) son un subconjunto de los problemas de programación (Scheduling) [5].

**Timetabling pertenece a la categoría de problemas Np-hard, en los cuales existe una proporción directa entre el tiempo y la calidad de la solución, lo cual impulsa a utilizar métodos de búsqueda que entreguen una solución óptima en un tiempo adecuado.<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Asignación de horarios de clases universitarios mediante algoritmos evolutivos

Los TTP son adaptados a múltiples áreas como en la educación (horarios de clases, exámenes), en la medicina, tv (programación), producción, etc. Este tipo de problemas colaboran con la preparación de planificaciones, cronogramas de actividades, asignaciones de tareas en intervalos de tiempos aptos para su desarrollo. Un calendario es la cuenta programada de la sucesión del tiempo, utilizado para la disposición cronológica de actividades.

Según la literatura consultada existen varias formas de resolver este tipo de problemas pero se mencionarán los más importantes y conocidos:

### **2.3. Técnicas de Optimización Exactas**

Estas nos entregan soluciones óptimas, respetando las necesidades y requerimientos entre las que tenemos: la programación lineal, programación entera, Backtracking entre otras.

#### **2.3.1. Programación Lineal**

Este método consiste en resolver un conjunto de ecuaciones que deben satisfacer condiciones previamente establecidas por el usuario, además cuenta con una ecuación llamada función objetivo la cual puede ser maximizada o minimizada según las necesidades del problema. Con estos métodos se obtienen respuestas óptimas, pero en algunas situaciones resulta complejo hallar una solución. Por esto se puede optar por heurísticas y metaheurísticas.



### **2.3.2. Programación Entera y Mixta**

Según lo visto los modelos de programación entera se encuentran integrados por un conjunto de restricciones que deben ser satisfechas y la otra parte es la función objetivo que será maximizada o minimizada al igual que en la programación lineal [5]. En este tipo de problemas todas o parte de las variables de decisión deberán tomar un valor entero.

Según el tipo de variable que se utilice los problemas pueden ser:

- ✓ Enteros: todas las variables deben tomar valores enteros.
- ✓ Enteros Mixtos: algunas variables tomaran valores enteros y otras variables serán continuas.
- ✓ Binarios: son variables que tomaran valores de 0 y 1.

## **2.4. Técnicas de Optimización de Aproximación**

### **2.4.1. Heurísticas**

“Las heurísticas son procedimientos simples basados en el sentido común que se supone que obtendrán una buena solución (no necesariamente la mejor) a un problema difícil de un modo sencillo y rápido”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Métodos heurísticos para la planificación y el manejo forestal

## **2.4.2. Metaheurísticas**

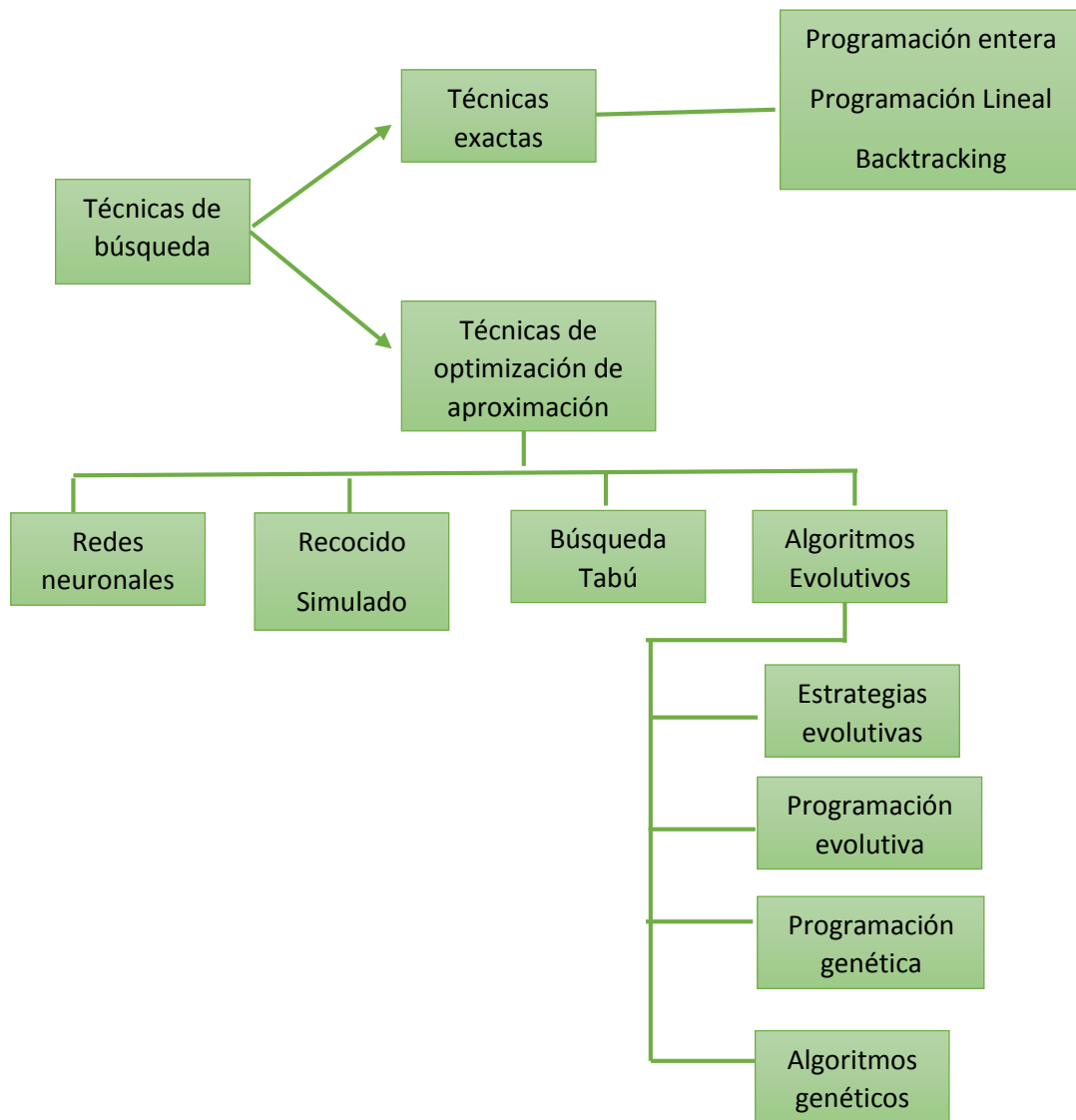
**Una metaheurística es un proceso iterativo que dirige y modifica las operaciones de otras heurísticas subordinadas para producir soluciones de alta calidad.**

**Puede manipular una solución única (completa o incompleta) o un conjunto de ellas en cada iteración. El heurístico subordinado puede ser un procedimiento de alto (bajo) nivel, una simple búsqueda local o un método de construcción. <sup>3</sup>**

Las soluciones obtenidas son buenas pero no necesariamente serán las óptimas, las heurísticas más utilizadas son el algoritmo genético y el recocido simulado. Este trabajo se enfoca en el diseño del algoritmo genético para la resolución del problema de calendarización puesto que simulara diferentes escenarios de mejoras con pequeñas posibilidades de soluciones nada aceptables ya que simula la evolución y mutación de un individuo.

---

<sup>3</sup> Métodos heurísticos para la planificación y el manejo forestal



*Ilustración 2.1. Clasificación de las técnicas de búsqueda*  
*Fuente: Asignación de horarios de clases mediante algoritmos evolutivos*

## 2.5. Optimización Combinatoria

La optimización combinatoria es una rama de la optimización matemática relacionada con la investigación de operaciones. El conjunto de posibles soluciones es discreto o se puede reducir a un conjunto discreto.

El objetivo de estos problemas es encontrar la mejor solución o solución óptima, ya sea maximizando utilidades o minimizando la función de costo. [3]

Algunos ejemplos de problemas de optimización son:

- ✓ El problema de la mochila
- ✓ Coloración de Grafos
- ✓ Calendarización de actividades (Scheduling)

## 2.6. Calendarización

La calendarización (en inglés scheduling) es una de las parte principal para este estudio, puesto que en la planificación de procesos, actividades y secuencias la cual ofrece resultados que maximizan el rendimiento, ahorrando tiempo y dinero. A continuación se analizan los elementos que intervienen en el scheduling:

- ✓ Tareas
- ✓ Recursos
- ✓ Tiempo

Las tareas forman parte de la planeación, son actividades que transcurren en un periodo de tiempo interactuando con uno o más recursos (máquinas, mano de obra, materia prima) y entre ellas. Algunas tareas tienen un nivel de prioridad frente a las demás tareas, quiere decir, que los demás trabajos no pueden iniciar sin que haya empezado la TASK1 primero.

Los recursos es el material de consumo para el desarrollo de una actividad, algunos de estos pueden encontrarse disponibles solo en intervalos de tiempo. El tiempo es un recurso especial, ya que delimita el inicio, duración, y fin de las actividades. Para esta empresa el recurso de tiempo no es valorado porque no existen límites de tiempos para la culminación de las tareas.

### **2.6.1. Tipos de Problemas de Calendarización**

Los problemas de scheduling se dividen en dos grupos, primero en cuanto a la demanda de recursos durante cierto tiempo y por otra parte en el suministro de recursos, los cuales se presentan a continuación:

- ✓ Problemas de scheduling “Puros”
- ✓ Problemas de asignación de recursos

### **2.6.2. Problemas de Calendarización Puros**

Para este tipo de problemas la capacidad del recurso está definido por un tiempo definido; el problema consiste en satisfacer la demanda de recursos necesarios para realizar las tareas dentro de un rango tiempo sin consumir más recursos. Se pueden distinguir algunos patrones de flujos:

- ✓ Flujo aleatorio (OSS): no existe restricción en el orden de uso de las máquinas.
- ✓ Flujo general (JSS): se respeta un patrón de trabajo el cual marca un orden de utilización de recursos. Y los trabajos deben ser procesados una sola vez por las máquinas.
- ✓ Flujo regular (FSS): todos los trabajos consumen los recursos pero ningún trabajo puede volver a ser ejecutado por un mismo recurso más de una vez. Caso particular de (JSS)
- ✓ Flujo permutacional (PFSS): caso particular de (FSS), la secuencia de trabajo es igual en todas las máquinas.

### **2.6.3. Problema de Asignación**

Para los problemas de asignación se dispone de un conjunto de tareas las cuales pueden ser realizadas utilizando recursos (máquinas, tiempo, mano de obra, materia prima, etc.) disponibles, pero que pueden requerir tiempos distintos de procesamiento.

En este trabajo se enfocará este tipo de problema, para encontrar una solución la cual tome en cuenta las habilidades del personal para la realización de las actividades; otorgándoles un nivel de preferencia a ciertas tareas o penalidades según corresponda.

## 2.7. Algoritmos Evolutivos

Como ya se había mencionado anteriormente se utilizarán algoritmos evolutivos los cuales trabajan con poblaciones de individuos en las que se representan soluciones candidatas a un problema. La población se debe someter a ciclos transformaciones y selecciones que favorecerán solo a los mejores. Cada vez que termina un ciclo se obtiene una nueva generación; con la última generación conseguida se espera que los resultados de ésta sean los más cercanos a los deseados, es decir, que estos resultados sean próximos al óptimo.

Las principales componentes son:

- ✓ Población de individuos: conjunto de posibles soluciones
- ✓ Proceso de selección: basados en el rendimiento de los individuos para resolver el problema.
- ✓ Procesos de transformación: para conseguir nuevos conjuntos de soluciones a partir de los anteriores.

En la ilustración 2.2 se muestra el pseudocódigo de los AG, de manera general explica el proceso desde la generación de una población inicial, que es evaluada para posteriormente entra en un ciclo de procesos como: cruce, selección y mutación, a través de los cuales se obtiene una solución candidata que será almacenada dentro de un vector Q.

```

t := 0;
Inicializar P(t);
Evaluar P(t)
While termino = falso
  Empezar
    P'(t) := Variacion [ P(t) ];
    Evaluar [ P'(t) ];
    P(t+1) := seleccionar [ P'(t) ∪ Q ];
    t := t+1;
end

```

Ilustración 2.2. Seudocódigo de los algoritmos evolutivos  
Fuente: Algoritmos evolutivos y algoritmos genéticos

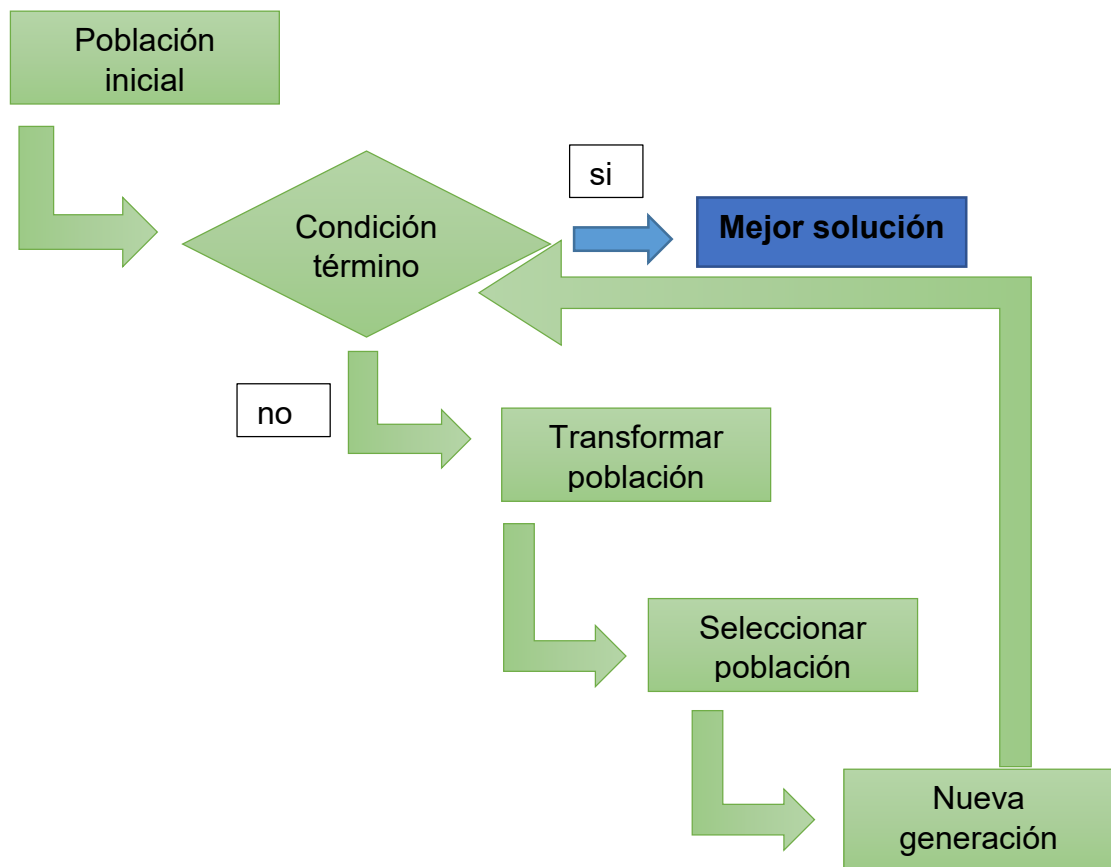


Ilustración 2.3. Estructura general para los algoritmos evolutivos  
Fuente: Algoritmos evolutivos y algoritmos genéticos



### **2.7.1. Clasificación de los Algoritmos Evolutivos**

#### Estrategias evolutivas

La meta inicial es resolver problemas de optimización discretos y continuos. Utilizando el cruce, mutación y selección para eliminar las peores soluciones sin generar copias de los individuos que se encuentren bajo el promedio.

#### Programación evolutiva:

Es diseñada con el fin de crear inteligencia artificial. La representación del problema se realiza mediante números reales y emplea el método de mutación y selección al igual que las estrategias evolutivas pero sin el cruce.

#### Algoritmos genéticos:

Representa los procesos de evolución con frecuente cambio en los genes, la representación de la solución son en cadenas binarias.

Programación genética: los individuos son programas representados habitualmente como árboles; los operadores que usa son el cruce, modificación y selección.

### **2.7.2. Algoritmo Genético**

Los algoritmos genéticos (Ag) son estrategias de búsqueda estocásticas basadas en un mecanismo de selección natural fue introducido por Holland (1975) y posteriormente Goldberg (1989), en algunos casos imitando la evolución biológica. Tienen elemento inicial se encuentran los

cromosomas que son los que contienen la información genética, estos cromosomas se unen para formar un individuo el cual representa la primera solución, el conjunto de individuos forma una población los cuales contienen las mismas bases genéticas, posteriormente se evalúa esta población para conocer eficientes son los resultados de estos.

En el proceso de selección se toman a los individuos de la población que presentaron buenas soluciones para seguidamente cruzarlos y obtener una nueva población llamada nueva generación.

Los hijos obtenidos en la nueva generación entregan mejores soluciones que las de sus padres pero alguno de estos hijos puede contener un gen mutado el cual presente soluciones desfavorables en comparación al resto de hijos obtenidos.

Los procesos de evaluación, selección, cruce y mutación se repiten en el proceso hasta que se cumpla un criterio de parada, previamente definida.

**Procedimiento del algoritmo genético**

```
Generar población inicial  
Evaluar población  
While NO criterio de parada  
    Selección de población  
    Cruzar de población  
    Mutar población  
    Evaluar población  
end While
```

*Ilustración 2.4. Seudocódigo del algoritmo genético clásico*

*Fuente: Diseño e implementación de una heurística para resolver el problema de calendarización de horarios para universidades*

## 2.8. Diagrama de Gantt

Para representar las soluciones obtenidas por el AG se utilizan diagramas de Gantt, los cuales son una forma de simbolización gráfica tanto de planificación como de programación de procesos. A través de estos diagramas se puede monitorear las actividades durante un periodo de tiempo.

Se los suele usar en:

- ✓ La planificación y programación de las actividades a realizar en la resolución de problemas.
- ✓ Las tareas derivadas de procesos de mejora.
- ✓ La planificación y programación de proyectos.

- ✓ La planificación y programación de planes de acción.

Los pasos a seguir para su elaboración son:

- ✓ Definir procesos, para el caso de este trabajo se deben definir las actividades de control.
- ✓ Dividir el proceso en fases, los cuales establecen los tiempos de duración de cada tarea en el proceso interno de abastecimiento y control.
- ✓ Diseñar una tabla, la cual contendrá en la parte superior de izquierda a derecha los días de la semana y del lado izquierdo de arriba abajo la jornada de trabajo de la empresa.
- ✓ Las tareas serán representadas por medio de barras verticales con una longitud equivalente al periodo de tiempo la duración de cada.

Horas/ Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
08:00	Almacenar		Almacenar				
09:00		Recepción					
.....	.....	.....	Búsqueda código		.....	.....	.....
17:00							

*Tabla 2.2. Calendarización de actividades  
Fuente: Creado por la autora*

Como se puede observar en la tabla 2.1 la representación de las soluciones sería de esa forma. En la cual estarían marcados los días laborables de la empresa, las horas diarias que trabajan y el color representarían a la persona encargada de dicha actividad.

# CAPÍTULO 3

## Metodología de Trabajo

En esta sección se escribirá sobre el entorno general de la empresa, los pasos que fueron seguidos para la obtención de la información necesaria, se describe también el calendario de actividades junto a las fechas para completar cada uno de los puntos de este trabajo.

Con la información obtenida se espera cumplir con los objetivos previamente descritos en el capítulo 1, como lo es el desarrollo de una solución inicial, el desarrollo del algoritmo genético en el programa Wolfram Mathematica 9 para alcanzar el siguiente objetivo el cual es la asignación de mano de obra y la calendarización de actividades aprovechando sus habilidades y tiempos disponibles para el desarrollo de estas.

### 3.1. Flujograma del Trabajo

A continuación se presenta la ilustración 3.1., la cual es un flujograma que contiene básicamente la secuencia de pasos que fueron necesarios para cumplir con las metas fijadas, empezando con la elección de una empresa, la cual debe prestar ayuda y apoyo para la adecuada recolección de información.

La elección del tema es un punto crucial, puesto que es la razón de ser de todo el proyecto, la elaboración y ejecución de la entrevista es importante porque

se conoce con mayor detalle los problemas de las organizaciones, para este caso los problemas detectados son de carácter humano por no poseer una cultura de trabajo.

El de la solución inicial tomo algo de tiempo para que funcionara de la manera que se esperaba respetando ordenes de prioridades y que a su vez la respectiva asignación se lleve a cabo de manera correcta.

Una vez obtenida la solución inicial el algoritmo genético no presentó muchos problemas en su elaboración, pues la solución inicial ya deba la pauta para la generación de la población.

En la sección de análisis y resultados se ven las posibles respuestas obtenidas por medio de la variación de los parámetros, que sucede si la población es muy pequeña que tan precisa puede ser la respuesta o que tan precisa es cuando la población es realmente grande se analizan cada uno de estos aspectos.

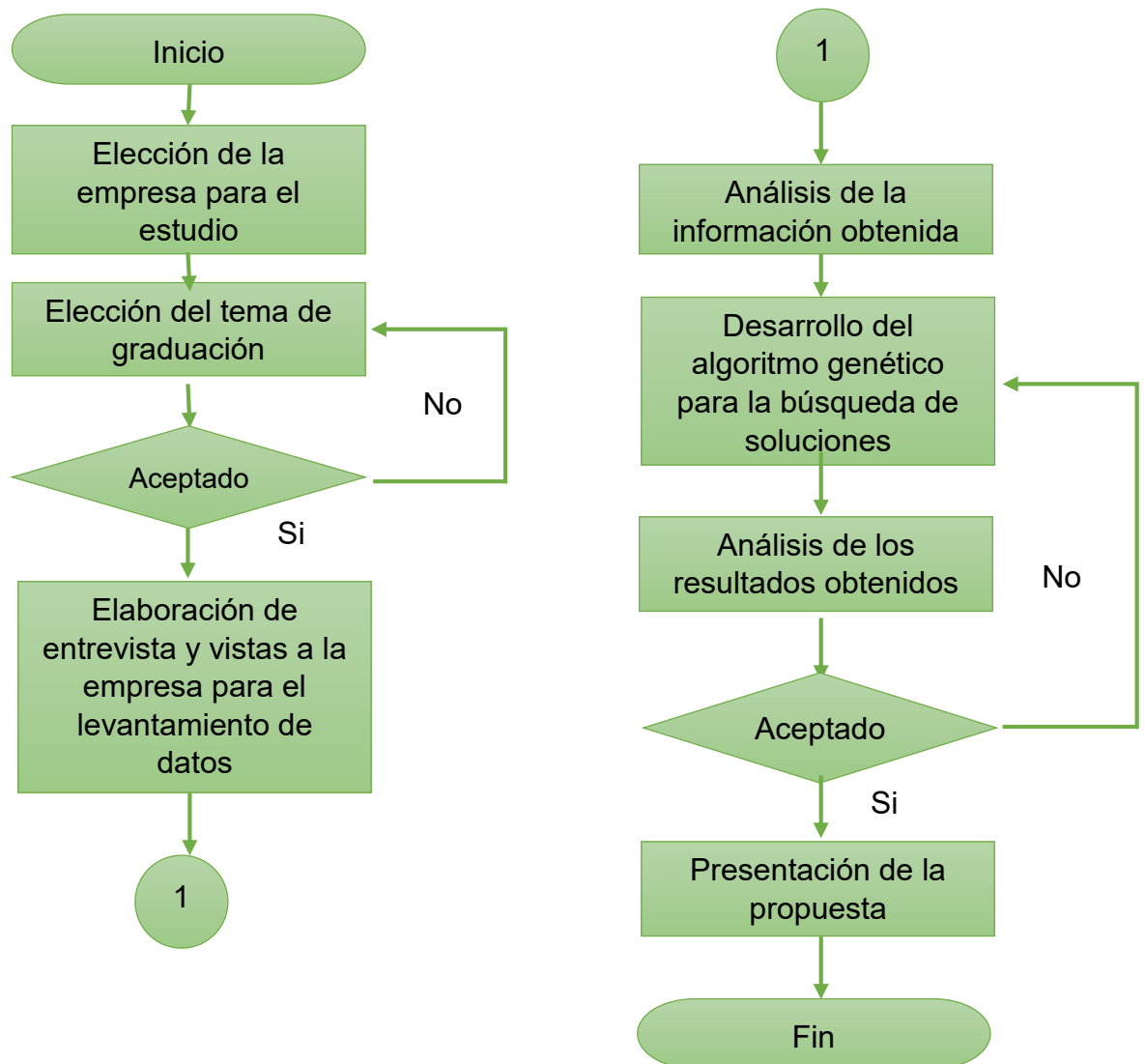


Ilustración 3.1. Flujograma de trabajo

Fuente: Creado por la autora



### 3.2. Flujo de Información

Como se puede observar en la ilustración 3.2., se han dividido en dos los procesos realizados entorno a la empresa. Estos procesos han sido llamados procesos internos y procesos externos.

En cuanto a los procesos externos, son ajenos a la empresa es decir son situaciones en las cuales la empresa no puede ejercer control sobre ellos. Estos elementos son los clientes y los proveedores, los procesos asociados a cada uno de ellos son:

- ✓ Venta
- ✓ Proceso de abastecimiento

Cuando se habla del proceso de abastecimiento, es la acción de equipar o surtir un inventario y tener bienes para su posterior procesamiento y como paso final la venta de ese artículo. Para la empresa de repuestos esta acción de reabastecerse tiene un único fin el cual es la reventa.

La reventa nos lleva al siguiente proceso externo, el cual es la venta propiamente dicho. Las ventas que se generan son consecuencia de que un cliente el cual es el usuario final en esta cadena solicite un artículo, en este caso que solicite un repuesto de auto. Estas son básicamente las actividades externas a la organización.

El proceso interno es el punto en el cual se centrará el trabajo el cual se procede a describir en la sección 3.3.

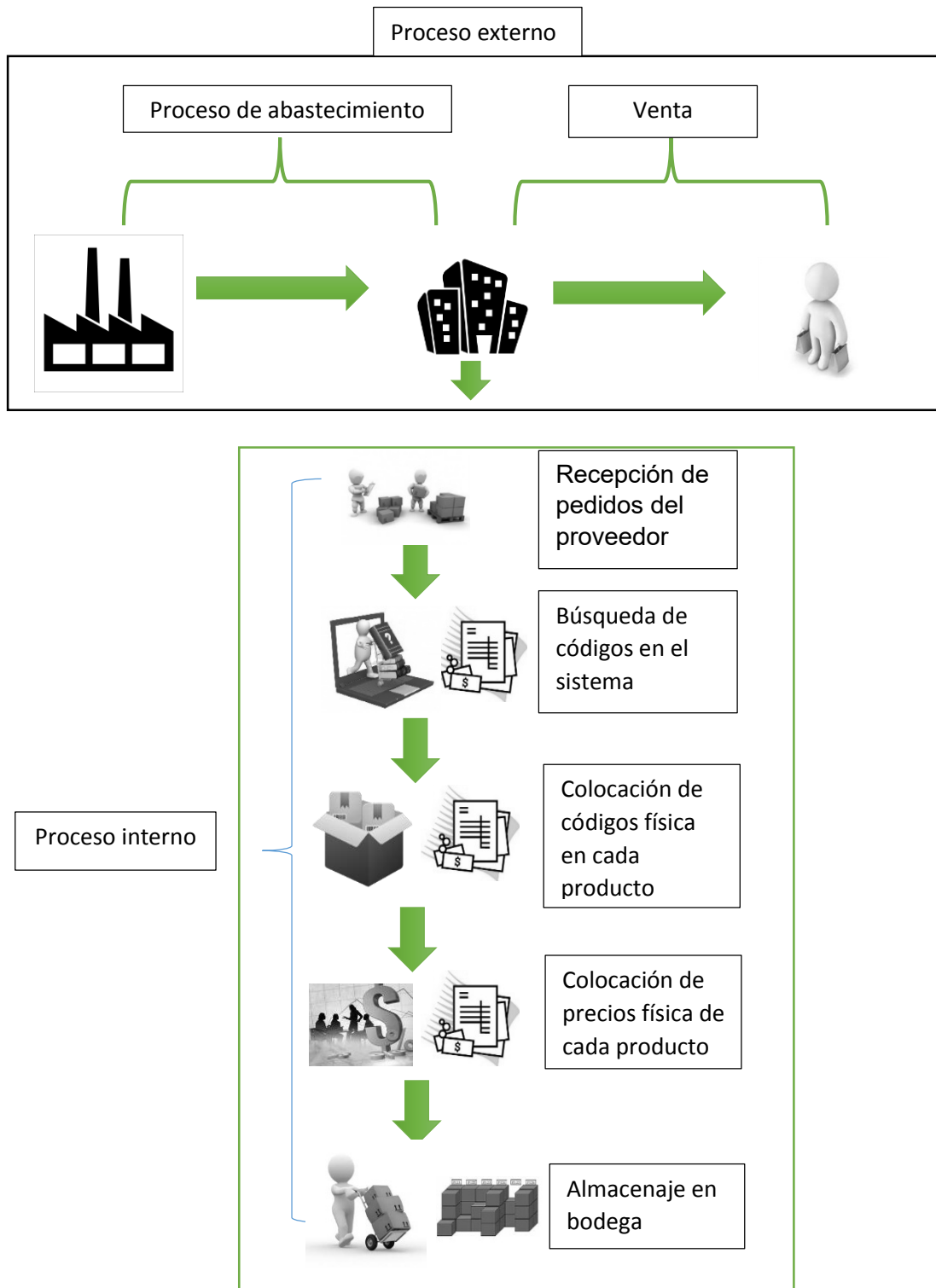


Ilustración 3.2. Flujo de información

Fuente: Creado por la autora

### **3.3. Área seleccionada para el Desarrollo del Proyecto**

Al momento de elaborar un calendario de actividades algunas personas piensan que es fácil, ya que se trata de ubicar diferentes tareas en días u horas específicas; pero en realidad no se toman en cuenta algunas restricciones que no permiten su correcta elaboración.

Bajo este contexto, en la empresa, la premisa anterior se cumple puesto que la incorporación de cualquier tipo de calendario de actividades para tratar de organizar a sus empleados, se conforma de manera empírica. Según, su día a día se preparan las actividades a realizar, sin otorgar prioridades a las tareas.

Para este caso, las actividades a organizar son las de mantenimiento y administración del inventario, debido a que si no cuentan con repuestos disponibles no venden y si no venden no generan ganancias [1].

#### **Inventario:**

**Los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de distribución y logística de una empresa.<sup>4</sup>**

---

<sup>4</sup> Administración de la cadena de suministro. Quinta edición. 326 pg.

Los procesos internos que son los que se encuentran en el marco verde de la ilustración 3.2., son aquellas labores ejecutadas dentro de la organización tomando como actividad inicial la recepción de los pedidos por parte de los proveedores, los cuales hacen su distribución bajo un esquema de distribución conveniente para ellos; por lo tanto la llegada de los pedidos al local encuentra dentro de un intervalo de tiempo que básicamente puede encontrarse dentro del horario de trabajo el cual es de 8:00 a.m. a 18:00 ya que no hay una hora clara o definida para que lleguen los repuestos al local.

La acción subsecuente a la recepción es la búsqueda de códigos para colocarlos en cada una de las piezas que hayan llegado. Para conseguir esto se ayudan con las facturas de los diferentes pedidos y se procede a buscar los códigos originales de los repuestos dentro del sistema manejado en la organización, así como la recepción la búsqueda de códigos tiene un amplio intervalo ya que esta solo puede darse una vez que hayan llegado los pedidos, otro factor que interviene para que esta actividad inicie es que se espera a que haya una cantidad considerable de artículos para iniciar con todo el proceso de codificación. Este no lleva mucho tiempo, puesto que es solo la colocación de un número en los diferentes repuestos.

Continuando con la secuencia de actividades que es la obtención de precios y la colocación de los mismos en las piezas son actividades que no requieren mucho tiempo de ejecución, aunque hay casos especiales por ciertas facturas que contienen una lista larga de artículos.

Como actividad final tenemos el almacenaje, este se realiza de manera obligatoria una vez que hayan terminado los pasos anteriores para cada factura, en esta no se hace ningún tipo de parada, es decir, que no se espera a que todo este codificado y con precio para ser almacenado sino que, una vez terminada la primera factura automáticamente se almacena y las demás cajas se quedan en la fila para repetir el proceso con cada una de ellas.

### **3.3.1. Definición de las Actividades**

A continuación se procederá a definir las tareas a ser calendarizadas.

- ✓ Recepción de los pedidos: en la acción en la cual los proveedores entregan la mercadería a los clientes, para este caso en particular con respecto a la empresa que se está analizando, la acogida de estos repuestos, se ve restringida, puesto que en algunas ocasiones se deben ajustar a las horas de distribución del proveedor
- ✓ Búsqueda de códigos: en el momento que la mercadería debe ser codificada y ubicada en el lugar que le corresponde. Esta es una actividad que lleva mucho tiempo puesto que uno de los responsables, que cuenta con mayor tiempo para la buscar los códigos, no se encuentran debidamente capacitado por la empresa para realizar esta actividad provocando que el resto de actividades se retrasen.

- ✓ Codificación de la mercadería: el paso siguiente es la colocación del código es una actividad mucho más rápida, pero se ve retrasada debido a que el paso anterior no se resuelve con rapidez.
- ✓ Colocación de precios de la mercadería: la colocación física de los precios en los diferentes repuestos, toma casi el mismo tiempo que colocar de forma manual los códigos en estos.
- ✓ Almacenaje: otra actividad que se realiza de forma rápida ya que la persona encargada de bodega conoce los estantes en los que van los repuestos según el tipo de vehículo.
- ✓ Pedidos: junto a esta inspección se deberían realizar las anotaciones de los artículos faltantes, para informar y realizar el pronto pedido de los repuestos.

### **3.4. Cronograma de Actividades**

En la ilustración 3.3 se detallan las actividades para el desarrollo del presente proyecto con sus respectivos tiempos de duración.

El diseño del mismo está dispuesto de forma diaria, coloreando de verde los días que fueron necesarios para la realización de las diferentes actividades.



### **Secretaria**

Es el puente principal de comunicación entre las diferentes áreas de la empresa con el gerente, las funciones que desempeña son las siguientes:

- ✓ Recibir las llamadas del tecnico para pedir el despacho de diferentes pedidos.
- ✓ Realizar llamadas de seguimiento para el cobro de deudas.
- ✓ Realizar las transacciones de cobro a los clientes por medio de sus respectivas tarjetas de crédito.
- ✓ Llevar registro de la mercadería vendida.
- ✓ Almacenar las copias de las facturas emitidas, para un posterior control de las mismas y adjuntar en el caso que sea necesario vouchers correspondientes al pago con tarjetas de crédito.
- ✓ Manejar la caja chica de la empresa.

En el área administrativa se encuentran el jefe administrativo, la contadora y ventas los cuales desempeñan las siguientes funciones:

### **Jefe Administrativo**

- ✓ Buscar alianzas con los proveedores para obtener precios más competitivos dentro de este gran mercado de los repuestos automotrices.
- ✓ Definir formas y plazos de pagos a los proveedores.



- ✓ Responder al gerente por la administración eficaz y eficiente de los recursos financieros.

### **Contadora**

- ✓ Llevar la documentación necesaria y al día para la declaración de impuestos en el SRI.
- ✓ Controlar las facturas emitidas por parte de la empresa, bloquearlas o anularlas según sea el caso.
- ✓ Llevar un balance de los gastos realizados e ingresos realizados en el mes.
- ✓ Tener registro de la documentación del establecimiento al día.

### **Ventas**

- ✓ Recibir los pedidos de los clientes para llevar a cabo el proceso de venta al usuario final.

En el área de almacén se encuentra el jefe de almacén y el auxiliar de almacén los cuales básicamente se dedican a mantener en orden esta sección pulmonar de la empresa. Sus actividades son definidas a continuación:

### **Jefe Almacén**

- ✓ Supervisar la recepción de los pedidos.
- ✓ Llevar el inventario de los bienes existentes en la empresa.

- ✓ Dirigir la organización de las diferentes piezas de repuestos, según medidas y marcas de vehículos.
- ✓ Realizar los pedidos a los proveedores.

### **Auxiliar de Almacén**

- ✓ Realizar el picking de los repuestos para que sean posteriormente despachados a los diferentes clientes.
- ✓ Recibir los pedidos, codificarlos, ponerles precio y almacenarlos.
- ✓ Recibir el pedido del tecnicentro, realizar el picking en perchas y enviar los repuestos.
- ✓ Informar cuando algún repuesto este agotado o por agotarse.

### **Tecnicentro**

En el tecnicentro se ofrecen servicios de mantenimiento de vehículos en general (cambios de aceite, de filtros, etc.) y enderezamiento de cigüeñales y cabezotes. Aquí se encuentra el jefe de técnicos, asistente técnico y auxiliar.

### **Jefe de Técnicos**

- ✓ Dirigir, programar y controlar los servicios del taller.
- ✓ Diagnosticar y recomendar la solución de fallas de los diferentes vehículos. Interpretar los manuales técnicos de los repuestos.
- ✓ Actuar de nexo en el asesoramiento técnico a clientes y al área comercial de la empresa.

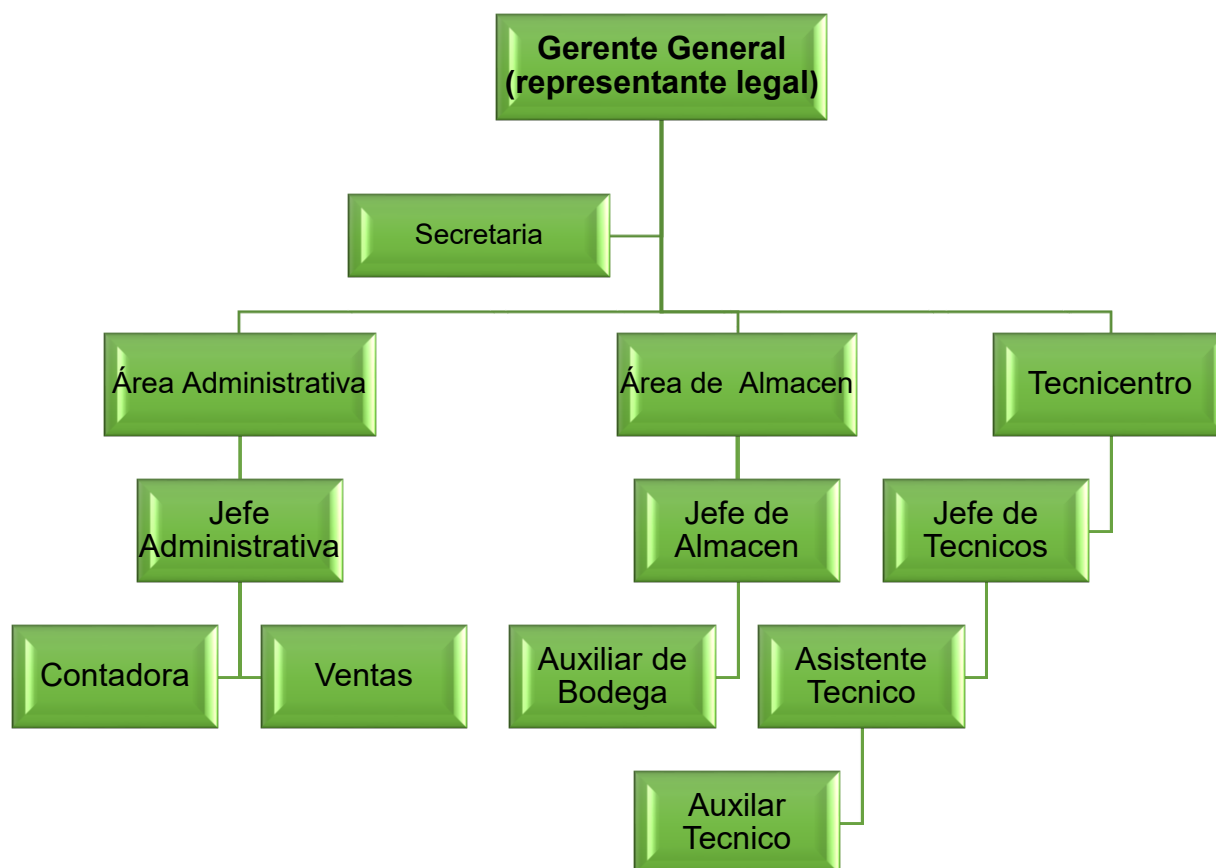
**Asistentes Técnicos**

Tiene básicamente como función:

- ✓ Efectuar cambios de aceites, de filtros, rectificación de motores o cualquier tipo de arreglo que el vehículo necesite.

**Auxiliares Técnicos**

- ✓ Brindar ayuda a los asistentes para los arreglos necesarios.



*Ilustración 3.4. Organigrama de la empresa  
Fuente: La empresa en la que se realiza el trabajo*

### 3.6. Proceso de Abastecimiento

El proceso de abastecimiento de la empresa tiene varios pasos a seguir, los cuales inician en el momento justo de la recepción, pasando por la colocación de códigos y precios, hasta que sean guardados en las estanterías correspondientes.

En la empresa, todo este proceso lo desempeña un grupo muy reducido de personas, pero no se tomó en cuenta los volúmenes actualmente manejados, las habilidades y el tiempo disponible para poder realizar estas tareas de la

mejor forma posible haciendo que el proceso tome varios días, dependiendo de qué tan grandes hayan sido los pedidos realizados.

Cuando se habla de que no se tomó en cuenta el tiempo disponible y de las habilidades de la persona encargada es por lo siguiente:

### **Tiempo**

Estas personas que se encuentran encargadas del manejo de las bodegas no solo realizan las actividades de mantenimiento y control, sino que desempeñan otras labores dentro de la organización (como un mensajeros o ayudantes en el área de ventas) dejan sus labores para ayudar en los otros puestos, esto ocasiona que su trabajo se acumule, generando efectos negativos en los niveles de existencia del sistema.

### **Habilidades**

El problema de habilidades surge por la falta de capacitación por parte del gerente, ya que estas personas deben buscar los códigos originales de los productos dentro de la base del sistema manejados por parte de la empresa para codificar los repuestos recién llegados.

Al no saber manejar una computadora, piden ayuda a los vendedores para que estos le busquen los códigos, resultando de todas maneras un proceso lento hasta conseguir todos los códigos, provocando de igual manera impactos negativos en el sistema.

Lo que ocurre en el sistema es que si llega una persona a buscar algún tipo de repuesto que aún se encuentre en proceso de almacenaje es vendido con el código al que pertenece y si en el sistema ya marcaba que había cero existencias empezara a marcar saldos negativos, provocando que cuando se ingresen los pedidos de forma digital no ingresen con la cantidad correcta y así el inventario no podría estar al día.

A parte de los inconvenientes mencionados algunos problemas adicionales son: el sobre stock, repuestos incompletos, por esto se agregan dos actividades más que son la inspección y limpieza de las estanterías.

### **Inspección**

Surge como necesidad de:

1. Confirmar la colocación correcta de los códigos en los repuestos y en el sistema.
2. Controlar que los repuestos estén ubicados en los lugares correctos.
3. Realizar los pedidos de los diferentes repuestos.

### **Limpieza**

Surge como necesidad de:

1. Retirar cajas vacías de las estanterías.
2. Retirar los repuestos incompletos de la estantería y colocarlos en otra para que posteriormente sean enviadas al tecnicentro.

### 3.7. Selección de Datos

Para la selección de los datos necesarios se realizaron visitas a la empresa para observar todo el proceso de almacenamiento y cuantas son las personas encargadas de esta actividad.

El número de personas que intervienen son 3 pero se pueden ampliar a 4, según lo que se habló en la empresa puesto que están dispuestos a prestar su ayuda para que este proceso se agilite y exista un mayor orden dentro de sus bodegas.

Para medir el tiempo libre y sus habilidades se pidió a los empleados que podían intervenir dentro del proceso de almacenamiento que calificaran las diferentes actividades del 0 al 5 (siendo 5 la puntuación máxima disponibilidad en el caso del tiempo o mayor habilidad en el caso de habilidades)

	1	2	3	4	5	6	7
E1	5	1	5	4	5	3	4
E2	3	5	3	5	4	5	5
E3	4	5	5	4	5	4	4
E4	5	2	4	4	3	3	3

Tabla 3.1. Puntuación de habilidades

Fuente: Creado por la autora

En las tablas 3.1., se encuentra las puntuaciones que entregaron los empleados sobre sus habilidades para colaborar con la ejecución de las actividades de almacenamiento y control de inventario.

Los números que se encuentran en la cabecera de cada columna son las 7 actividades a realizarse:

1. Recepción de los repuestos
2. Búsqueda de códigos de los repuestos
3. Colocación de códigos en los repuestos
4. Colocación de precios en los repuestos
5. Almacenamiento de los repuestos
6. Inspección
7. Limpieza

### **3.7.1. Horas Disponibles.**

Para la obtención de los horarios pertinentes fue necesaria la observación de varias semanas del trabajo regular de los empleados y del ritmo del negocio en general. Y se obtuvieron los siguientes intervalos: [08:00-10:00] – [16:00-18:00].

Estos intervalos de tiempos no son necesariamente horas muertas con respecto a las ventas (ya que los chicos de caja colaboraran con el desarrollo de estas actividades), pero si son horarios en los cuales estas son pocas.



### 3.7.2. Duración de las Actividades de Abastecimiento

La duración de las distintas tareas queda ilustrada de la siguiente manera en la tabla 3.3 de la siguiente manera:

Actividades	1	2	3	4	5	6	7
Duración	2	2	1.5	1.5	1	2	1

*Tabla 3.2. Duración de las diferentes actividades*  
Fuente: Creado por la autora

La cual lleva la misma asignación de números de las tablas anteriormente mencionadas.

Las actividades número 6 y 7 que representa la inspección y limpieza respectivamente, tienen un número de horas bajo, pero este tiempo es en realidad el necesario para la revisión en una sola categoría ejemplo: bielas, cabezotes, rines, etc. de toda la mercadería en este caso repuesto, que posee la empresa.

### 3.8. Desarrollo de la Solución Inicial

Antes de empezar con el desarrollo y ejecución del algoritmo genético se debe tener una célula inicial o solución inicial la cual dará origen a una población, esta función inicial será denominada “Gsem”, la que entregará como resultado una semana con actividades definidas para los diferentes días.

En la tabla 3.5 se agrupan las tareas dependientes e independientes. Con esta división la ubicación de las actividades independientes se realiza de forma

aleatoria en los días de la semana, puesto que éstas no tienen algún tipo de restricción al momento de colocarlas.

Para poder colocar las actividades dependientes se utilizó una función auxiliar llamada “**dep**” en la cual debe ingresar la actividad recepción y esta será el inicio para que tareas dependientes puedan comenzar, la secuencia a seguir de estas actividades se encuentra colocada en el anexo 1.

En la función “**Gsem[n]**” se consigue una matriz de actividades.

Independientes	Dependientes
Recepción	Búsqueda de códigos
Limpieza	Colocación física de los códigos
Inspección	Colocación física de los precios
	Almacenamiento de los repuestos

*Tabla 3.3. Actividades dependientes e independientes*

*Fuente: Creado por la autora*

```

d= número de días;

actIni = ini;

While criterio de parada

    diaale= random [d]

    If predecesor(act) = ini

        semana = actv;,

    Else

        semana = activiDependiente

    end If

end While

end

```

*Ilustración 3.5. Seudocódigo para la generación de semanas*

*Fuente: Creado por la autora*

En la ilustración 3.6 se muestra el pseudocódigo para la generación de semanas recibiendo el valor  $d$  el cual representa el número de días requeridos para una semana de trabajo. La variable *actIni* representa una actividad inicial ficticia.

La ubicación de las actividades se encuentra dentro de un ciclo, el cual es controlado por un *While* el cual tiene un criterio de parada. La variable *diaale* es un número aleatorio entre el 1 y  $d$ .

Dentro de este ciclo se especifica una validación para colocar primero las actividades principales primero y luego las dependientes de estas. *Semana* es la matriz que contiene los días y horas ya definidas. *Actv* es la actividad en

curso a ser colocada y *activiDependiente* son todas aquellas actividades que dependen de las tareas previamente ubicadas, las cuales deben respetar a sus predecesores y sus sucesores.

Para obtener la asignación de mano de obra y la puntuación de esa asignación se utilizaron las siguientes funciones “**asig**” y “**peso**” respectivamente.

En la ilustración 3.7 la función de asignación recibe dos parámetros, los cuales son la matriz de semana que anteriormente se definió y otra matriz de valores para la ubicación de los empleados. Esta selección de persona se hace de forma aleatoria de los diferentes empleados para posteriormente ser evaluados con la función de peso.

```
Datos: semana, valores  
For i, j to length [semana]  
  Seleccionar act[ i, j ]  
  Buscar valores  
    nomma[ i, j ]= Posición [ramdon [valores]]  
end For  
end
```

*Ilustración 3.6. Seudocódigo para la asignación*  
*Fuente: Creado por la autora*

En la ilustración 3.8 se define por medio de un pseudocódigo la función de pesos. Esta recibe como datos tres matrices las cuales son semana, valores, asignación.

```
Datos: semana, valores, asignacion  
  
For i, j to length [semana]  
  
  Seleccionar act[ i, j ]  
  
  Buscar valores  
  
    nma[ i, j ]= valores[ i , j ]  
  
end For  
  
end
```

*Ilustración 3.7. Pseudocódigo para la colocación de los pesos*  
*Fuente: Creado por la autora*

### **3.9. Desarrollo del algoritmo genético**

Para resolver el problema del calendario de actividades y la asignación de mano de obra mediante el uso del algoritmo genético se utilizaron los siguientes pasos.

- ✓ Obtención de solución inicial
- ✓ Generación de la población
- ✓ Evaluación de la población
- ✓ Selección de la población
- ✓ Cruce de la población

- ✓ Mutación de la población

### Obtención de la solución inicial

Como ya se mencionó por medio de la función “Gsem” y “asig” se obtienen soluciones iniciales dando como resultado matrices de 5x5.

$$\text{Matriz de actividades}_{5 \times 5} = \begin{pmatrix} act(1,1) & \cdots & act(1,5) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ act(5,1) & \cdots & act(5,5) \end{pmatrix}$$

$$\text{Matriz de actividades}_{5 \times 5} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & 2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

### Generación de la población

La generación de población proporciona un conjunto de individuos los cuales forman una población que respetan los antecedentes y prioridades de las semillas que se utilizaron en este caso la solución inicial.

$$\text{Matriz de poblacion de actividades}_{1 \times n} = \begin{pmatrix} \{act1, act2, act3 \dots actn\} \\ \{act1, act2, act3 \dots actn\} \\ \{act1, act2, act3 \dots actn\} \\ \vdots \\ \{act1, act2, act3 \dots actn\} \end{pmatrix}$$

$$\text{Matriz de poblacion de asignaciones}_{1 \times n} = \begin{pmatrix} \{1,1,3,2 \dots 1\} \\ \{2,1,2,3 \dots 1\} \\ \{2,2,3,1 \dots 2\} \\ \vdots \\ \{3,1,2,2 \dots 3\} \end{pmatrix}$$

### **Evaluación de la población**

Utilizando la función de peso se obtiene una calificación de cada uno de los elementos de la población y los resultados de estas evaluaciones se almacenan dentro de un vector, manteniendo el mismo orden de cada individuo dentro de la población.

Esta misma función castiga la mala ubicación y asignación que se genere en los procesos de cruce y mutación, haciéndolas no factibles al momento de tomar decisiones

$$\text{Matriz de evaluación}_{1 \times n} = \{12, 32, 28 \dots 33\}$$

### **Selección de la población**

Para la selección se otorgan probabilidades de aparición, la que se consigue utilizando los valores obtenidos por la evaluación, consiguiéndose que las asignaciones con mayor peso posean alta probabilidad de aparecer.

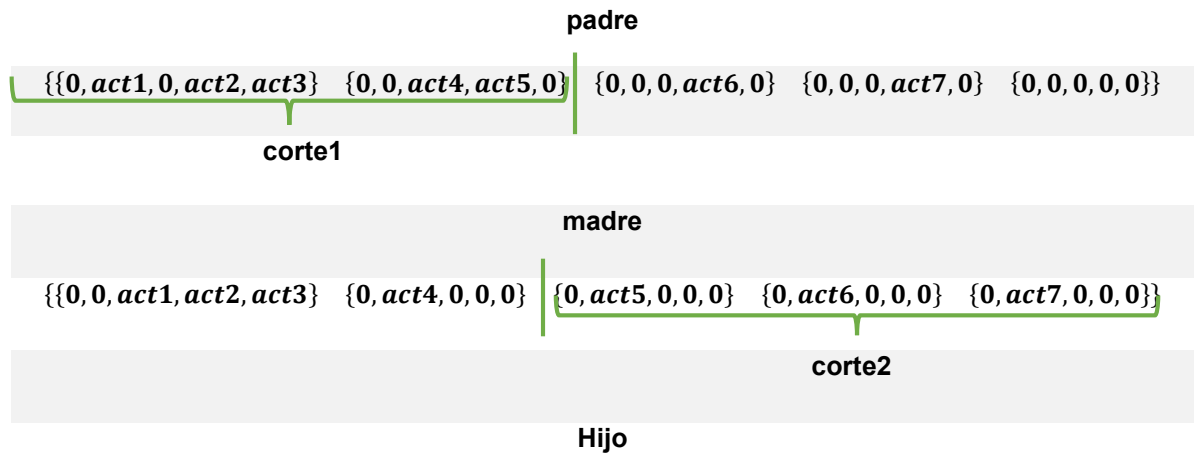
Y como resultado se crean dos vectores a partir de esa probabilidad y ese individuo.

$$\text{Matriz de seleccion}_{n \times 2} = \begin{bmatrix} \{act1, act2 \dots actn\} & \{act3, act2 \dots actn\} \\ \vdots & \vdots \\ \{act2, act3 \dots actn\} & \{act2, act1 \dots actn\} \end{bmatrix}$$

### **Cruce de la población**

Una vez seleccionada la población el cruce se realiza cogiendo una pareja de del vector de selección, realizándose un corte en el padre par que el hijo

obtenga la primera secuencia de este y el resto de la secuencia pertenezca a la madre.



### Mutación de la población

Para la mutación se selecciona un elemento aleatorio del hijo para que sufra un cambio y obtener un resultado muy bueno o muy malo.



# CAPÍTULO 4

## Análisis de resultados

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos a través de las funciones implementadas, observaremos el tiempo de respuesta del algoritmo.

Y se compararán los resultados obtenidos, es decir la idea propuesta contra la asignación que posee actualmente la empresa.

### 4.1. Ajuste de Parámetros

Se pondrá a prueba la eficiencia del algoritmo y el tiempo de respuesta, cambio del número de generaciones como en los porcentajes de mutación.

#### 4.1.1. Prueba de Número de Generaciones

En varias investigaciones se han hecho modificaciones en el número de generaciones, con el objetivo de ver el comportamiento de las soluciones a través de un número dado de éstas.

Entonces para realizar dichas pruebas se comenzó con 10 y posteriormente se pasara a las siguientes cantidades: 50, 100, 150, 200.

#### 4.1.2. Prueba de Porcentajes

Con el cambio de porcentajes de mutación se espera conocer el efecto que tiene en los operadores genéticos. En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de mutación y el porcentaje de recombinación. La

recombinación es el cambio que sufren los genes de las diferentes soluciones. Y como se puede observar mientras más alto es el porcentaje de mutación, dentro de la función el cruce entre los individuos de una población no es necesaria.

Mutación	Recombinación
0%	100%
20%	80%
40%	60%
60%	40%
80%	20%
100%	0%

Tabla 4.1. Porcentaje de mutación y recombinación  
Fuente: Creado por la autora

Con estos cambios en el número de generaciones junto a los porcentajes de mutación y recombinación, se desea observar la frecuencia de aparición de las soluciones, y posteriormente realizar la selección de los parámetros que entregaron resultados óptimos.

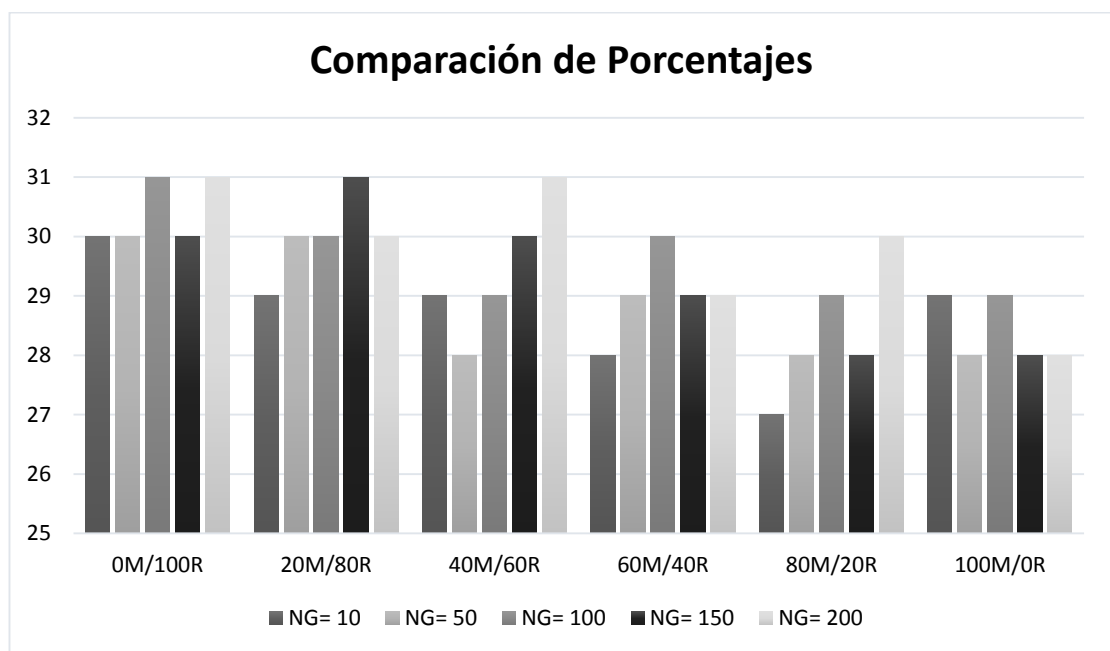
## 4.2. Análisis de Resultados

Ahora se observan los resultados obtenidos en las diferentes generaciones con los respectivos cambios en el porcentaje de mutación.

Población: 200

Número de corridas: 15

Número de generaciones: 10, 50, 100, 150, 200.

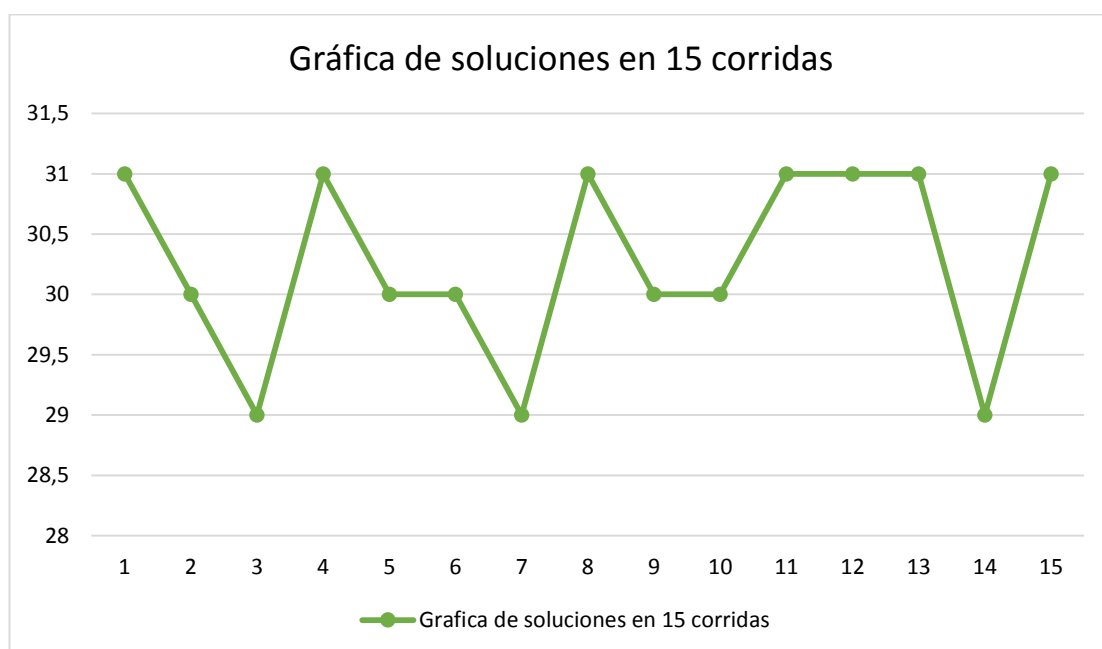


*Ilustración 4.1. Comparación de porcentajes con diferentes parámetros  
Fuente: Creado por la autora*

Como se puede observar en la ilustración 4.1. cuando el porcentaje de mutación es 0% las soluciones obtenidas son en su mayoría buenas, en este trabajo lo que interesa son aquellas soluciones con valoraciones muy altas, por eso las obtenidas con 0M/100R no son aceptadas, puesto que no se da oportunidad a los individuos de sufrir cambios propios de la evolución.

Por otra parte las soluciones obtenidas con 100M/0R puesto que la mutación se produce en un porcentaje elevado y las soluciones son muy inestables dándonos las peores soluciones posibles.

Entre los restantes resultados: 20M/80R, 40M/60R, 60M/40R, 80M/20R, el que presento más estabilidad entre las soluciones es la combinación de 20% de mutación y un recambio de 80%. Obteniéndose soluciones con valoración de 30 y 31 con mayor frecuencia, como se puede observar en la ilustración 4.2



*Ilustración 4.2. Grafica de soluciones en 15 corridas*  
*Fuente: Creado por la autora*

#### 4.2.1. Tiempo de Respuesta del Algoritmo

El tiempo de respuesta del algoritmo teniendo en cuenta el porcentaje de mutación, junto a las siguientes generaciones 10, 50, 100, 150, 200:

Numero de generaciones	Tiempo del algoritmo
10	1.06
50	4.36
100	8.55
150	12.75
200	16.94

*Tabla 4.2. Tiempo de operación del algoritmo genético  
Fuente: Creado por la autora*

Estos tiempos están dados en segundos de operación del algoritmo si se considera el número de individuos y las generaciones que se definieron.

#### 4.3. Soluciones al Problema de Calendarización

Una de las soluciones obtenidas que cumplen con las restricciones de disponibilidad de tiempo de los empleados y de prioridad de actividad se mostrara a continuación.

Los parámetros utilizados para este ejemplo fueron los siguientes:

- ✓ Tamaño de población: 60
- ✓ Probabilidad de mutación: 0.4

Semana 1					
Horas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
08:00	Inspección	Limpieza		Recepción	
09:00				Búsqueda de Código	Colocación de Códigos
16:00					Colocación de Precios
17:00					Almacenaje
18:00					

*Ilustración 4.3. Calendario para semana 1*

*Fuente: Creado por la autora*

Asignación de mano de obra				
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
E3	E4		E1	
			E2	E1
				E2
				E4

*Ilustración 4.4. Asignación de mano de obra*

*Fuente: Creado por la autora*

Como se puede apreciar la asignación del personal no está distribuida de tal manera que una persona no realice más de dos actividades.

El número de iteraciones que le tomó al AG encontrar la solución fue de 50 y el tiempo de ejecución fue de 1.37 segundos.

Se puede encontrar más de una solución a que cumpla con las condiciones deseadas, al igual que la solución presentada en el anexo 2 se muestran más resultados.

Ahora se mostrará otra solución pero con una doble asignación, esto quiere decir el designar dos personas para una misma actividad para que la ejecución.

Para esto se usarán los siguientes parámetros:

- ✓ Tamaño de la población: 60
- ✓ Probabilidad de mutación: 0.1

Esta solución respeta las restricciones puestas previamente, con esta doble asignación todos los empleados colaboran para la reducción del tiempo de estas tareas, consiguiéndose así un trabajo más sincronizado.

Semana 2					
Horas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
08:00	Inspección	Recepción		Limpieza	
09:00		Búsqueda de Código	Colocación de Precios		
16:00		Colocación de Códigos	Almacenaje		
17:00					
18:00					

Ilustración 4.5. Calendario para la semana 2 con doble asignación de personal  
Fuente: Creado por la autora

Asignación de mano de obra				
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
E3	E2		E3	
	E1	E4		
	E2	E1		

Asignación de mano de obra				
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
E2	E4		E4	
	E2	E1		
	E3	E1		

Ilustración 4. 5. Calendario para la semana 2 con doble asignación de personal  
Fuente: Creado por la autora



#### **4.4. Comparación de la Situación Actual con la Propuesta**

La asignación de la mano de obra de la empresa y la prioridad para realizar las tareas de mantenimiento de inventario no es el más adecuado, ya que no aprovechan al máximo las habilidades de los empleados, y el tiempo libre que estos puedan tener a lo largo del día.

Dado que todas las tareas se encuentran designadas de la misma forma en la que empezaron, que quiere decir que desde que empezaron su operación la metodología de trabajo no ha cambiado, a pesar de que ha crecido mucho la empresa desde sus inicios.

Como ya se mencionó las tareas son realizadas por un reducido número de personas y éstas se ven saturadas en trabajo, puesto que desempeña otras actividades. Esta sobre carga de trabajo provoca retraso en las actividades de abastecimiento implicando de manera negativa dentro del inventario, por una mala administración del personal dentro de la empresa.

El algoritmo diseñado presenta un mayor aprovechamiento de los recursos humanos, del tiempo disponible para realizar las diferentes tareas de abastecimientos, aprovechando sus habilidades y otorgando prioridad de desarrollo.

La empresa brindó mucha ayuda y apoyo con la propuesta y permitió realizar pruebas de desempeño con estas nuevas asignaciones durante varias semanas.

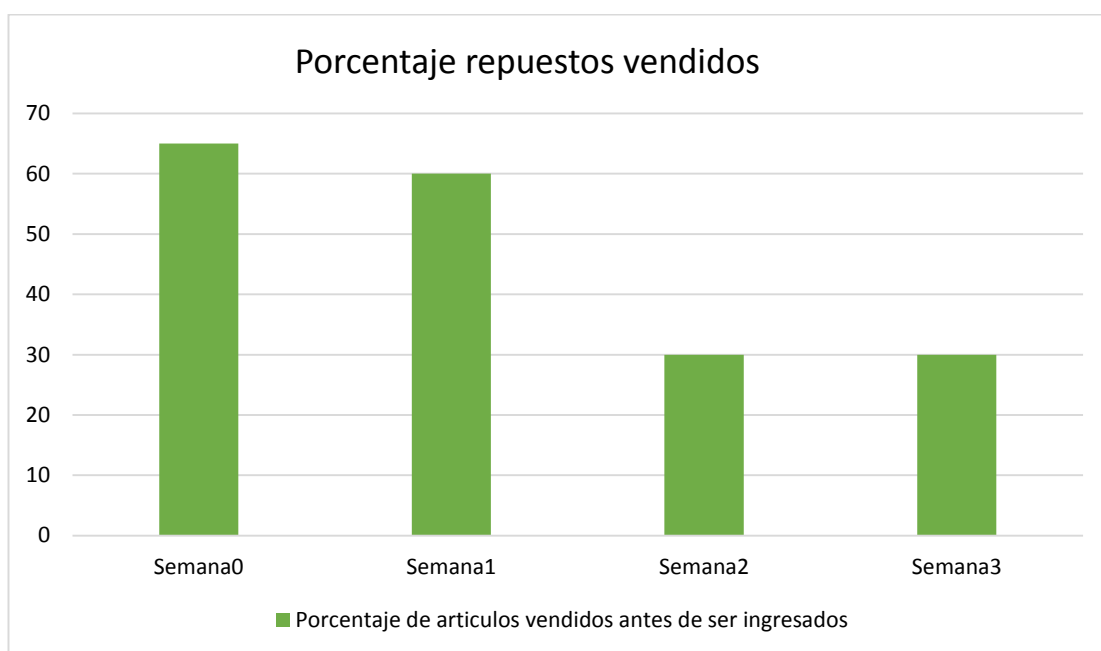
Los resultados son los siguientes:

Cuando son pedidos cortos de varios proveedores (full repuestos, repuestos Mario, Promesa, etc.) solo el proceso de abastecimiento podía llevar todo el día bajo el actual sistema de la empresa.

Con la nueva asignación permite que cada empleado desarrolle una actividad en su tiempo libre, consiguiéndose así que uno de los trabajadores termine su actividad y pueda dedicarse a otra de sus labores (ventas, distribución, etc.). A esta asignación de trabajo se la puede ver como una secuenciación de trabajo en serie.

Con la doble asignación de trabajo, como ya se dijo sería el asignar a dos personas para desempeñar una misma actividad el desarrollo de las actividades se redujo a la mitad, lo cual gusto en la empresa, puesto que en su mayoría las tareas de abastecimiento terminaban en el horario de la mañana, pero por preferencias de la empresa el tiempo establecido para el desarrollo de los procesos, se mantuvo a pesar de que estas se podían hacer en la mitad del tiempo.

El porcentaje de utilización de los empleados con la primera asignación, la de la organización, es del 25%, con la solución propuesta el porcentaje de utilización de los empleados es del 100%, todos trabajaron en las actividades asignadas y esto no intervino en sus otras obligaciones.



*Ilustración 4.6. Porcentaje de repuestos vendidos*  
*Fuente: Creado por la autora*

La gráfica 4.5 muestra el porcentaje de artículos vendidos sin codificación o sin que hayan sido ingresados GENESIS, en la semana 0 representa los trabajos realizados por la empresa antes de presentar una solución, como se puede apreciar el 65% de las ocasiones los artículos salen de la empresa sin ser registrados provocando desorden en su inventario, en las semanas 1, 2, 3 se permitió presentar la propuesta e incorporarla consiguiendo contrastes de mejoras.

Se puede apreciar ligeras reducciones en el volumen de artículos que salen sin ser registrados. En las semanas dos y tres se mantiene constante puesto que esta solución resuelve parte de los problemas con la organización dentro de la empresa. A largo plazo, podrían reducirse aún más estos porcentajes.

Y como se puede observar en la semana tres se obtuvo una constante de ahorro de tiempo del 35%, permitiéndoles realizar el resto de sus labores.

# CAPÍTULO 5

## Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

En este proyecto se procuró resolver la calendarización de actividades, sumándole la asignación de mano de obra, a una empresa dedicada a la venta de repuestos automotrices, utilizando la metaheurística de los algoritmos evolutivos, obteniéndose un programa que permite resolverlo en tiempos computacionales cortos y satisfaciendo las restricciones iniciales.

Las conclusiones de este proyecto se especifican a continuación:

1. Para calibrar los parámetros se realizaron varias ejecuciones en el AG obteniendo estabilidad de los resultados, de esta manera se consiguen las mejores asignaciones de los empleados para las actividades de abastecimiento y control del inventario. Con los valores de calibración se obtienen resultados en un tiempo de 9 segundos, estos son los parámetros:

Población: 200

Numero de generaciones: 100

Probabilidad de mutación: 0.6

2. Dentro del algoritmo no fue necesario aumentar una función de verificación, puesto que la población inicial ya respeta la secuencia de actividades, prioridades, habilidades. Esto se consiguió con la función de generación de semanas.
3. El algoritmo desarrollado cumple con la hipótesis descrita en la parte inicial, de crear una cultura de trabajo en el personal, designando de forma óptima a los empleados. Se evita el ocio laboral; puesto que todos los empleados tendrían alguna actividad que desempeñar ya sea de mantenimiento o de abastecimiento, y a largo plazo, los problemas que existen con el control del inventario disminuyan.
4. Con la doble asignación el tiempo requerido para la cada actividad se reduce a la mitad, pero por asesoría de la empresa los tiempos de culminación de las actividades quedan igual que si trabajara una persona por actividad en lugar de dos.
5. Finalmente el algoritmo mostro durante las semanas que se puso a prueba que existió una reducción del 35% de los artículos que salían de

la empresa con errores de codificación, precio etc. Este porcentaje a largo a plazo podría disminuir a un más al implementar más control sobre todos los procesos que existen dentro de la empresa, consiguiendo así que las diferencias entre los inventarios físico y digital se reduzca notablemente.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Mantener y sostener una mejor relación de trabajo con los proveedores para que estos entreguen los repuestos en los días y horarios establecidos por la empresa, para iniciar con todo el proceso de abastecimiento lo más pronto posible.
2. En el desarrollo del algoritmo genético se tienen en consideración algunas restricciones, como las habilidades, tiempos disponibles, número máximo de asignaciones por persona. Estas pueden ser ampliadas, ejemplo: una situación que no fue considerada es el crecimiento progresivo de la demanda para la inclusión de más personal que intervenga en el desarrollo de actividades.

3. Esta misma aplicación desarrollada puede ser utilizada para armar la calendarización y asignación de personal en cualquier otra zona de la empresa, puesto que cuentan con un tecnicentro, podrían utilizarlo en la reasignación de técnicos para los trabajos en diferentes vehículos que son agendados esperando ser atendidos.
  
4. Si el gerente desea realizar reducciones de personal en algún otra área de la empresa y quiere utilizar el programa desarrollado para la asignación del nuevo personal que quedará vigente; debe recordar que está diseñado para que las actividades por persona no sean mayores a dos, por lo que se sugiere que como mínimo se maneje un numero de cuatro personas, en dichas asignaciones.



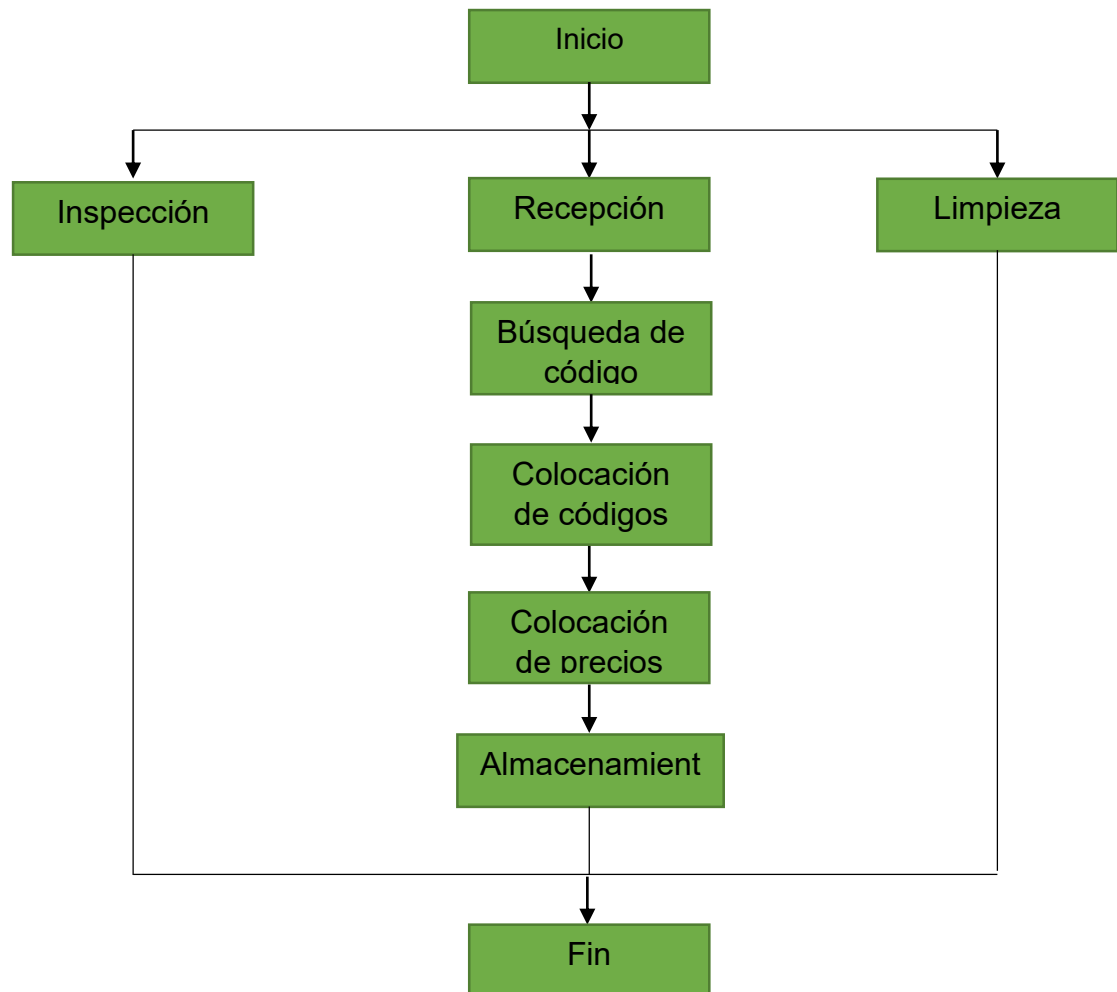
## Referencias Bibliográficas

- [1] B. M. L. Alberto, «El control interno en el inventario de repuestos automotrices es fuente de utilidades liquidas en la ciudad de Manta 2007. Caso CEDEPA S.A.,» Tesis de Grado, 2010.
- [2] D. B. H. Urmila Shrikant Pawar, «Personnel Scheduling Whith Heuristic Search Approach,» International Journal Of Engineering Sciences & Research, vol. 3, nº 7, 2014.
- [3] D. J. a. D. P. C. Ashish Jain, «Formulation of Genetic Algorithm to Generate Good Quality Course Timetable,» International Journal of Innovation, Management and Techonology, vol. 1, nº 3, 2010.
- [4] D. J. E. M. Delgado, «Optimizacion de la programacion (scheduling) en Talleres de Mecanizado,» Tesis Doctoral, Madrid, 2012.
- [5] D. L. Nazareno Alexander, «Diseño de un modelo de programacion entera para la calendarizavion de los partidos de la serie A de la primera division del fútbol ecuatoriano,» Proyecto de Graduación, 2013.
- [6] J. M. M. Caballero, «Asiganacion de horarios de clases universitarias mediante elgoritmos evolutivos,» Magíster en Ingeniería Industrial, Barranquilla- Atlantico, 2010.

- [7] X. C. Y. L. Liang Sun, «Solving job shop scheduling problem using genetic algoorthm with penalty function,» International Journal of Intelligentt Information Processing, nº 1, pp. 65-77, 2010.
- [8] Z. N. Sevilla Quevedo Hector Vinicio, «Uso de metaheurística para la optimizacion de la secuencia de producción y la asignación de mano de obra en una empresa manufacturera,» Proyecto de Graduación, 2010.

## **Anexos**

## Anexo 1 Secuencia de Actividades independientes y dependientes



## Anexo 2 Resultados del algoritmo genético en Wolfram Mathematica 9.1

```
AG[100, 5, 50, promedio, 0.1]

Solución final=

$$\begin{pmatrix} 0 & \text{inspeccion} & \text{recepcion} & \text{limpieza} & 0 \\ 0 & 0 & \text{busqueda} & \text{colocacionprecios} & 0 \\ 0 & 0 & \text{colocacioncod} & \text{almacenaje} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Solución asignacion=

$$\begin{pmatrix} 0 & 3 & 2 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Peso= 28
```

```
AG[20, 5, 10, promedio, 0.1]

Solución final=

$$\begin{pmatrix} 0 & \text{recepcion} & \text{limpieza} & \text{inspeccion} & 0 \\ 0 & \text{busqueda} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{colocacioncod} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{colocacionprecios} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{almacenaje} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Solución asignacion=

$$\begin{pmatrix} 0 & 3 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Peso= 30
```

```
AG[20, 5, 10, promedio, 0.1]

Solución final=

$$\begin{pmatrix} \text{limpieza} & \text{recepcion} & 0 & \text{inspeccion} & 0 \\ 0 & \text{busqueda} & \text{colocacionprecios} & 0 & 0 \\ 0 & \text{colocacioncod} & \text{almacenaje} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Solución asignacion=

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$


Peso= 29
```