



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
INNOVACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA**

**MAESTRIA EN MANUFACTURA Y DISEÑO ASISTIDOS POR
COMPUTADOR**

**OPTIMIZACIÓN EN TIEMPOS DE PRODUCCIÓN DE
SISTEMAS DE MANUFACTURA AUTOMATIZADOS CON
ALGORITMOS HEURÍSTICOS USANDO SOFTWARE LIBRE**

AUTORES: ING. FABIAN IZQUIERDO

Agenda

- ▶ **RESUMEN**
 - ▶ **OBJETIVOS**
 - ▶ **PROBLEMA**
 - ▶ **MARCO TEORICO**
 - ▶ **SOLUCIÓN**
 - ▶ **RESULTADOS**
 - ▶ **CONCLUSIONES**
 - ▶ **RECOMENDACIONES**
 - ▶ **PROYECTOS FUTUROS**
-
- ▶ **Tiempo estimado: 45 min**

Resumen

Esta investigación desarrolla la integración entre la simulación de un sistema de manufactura flexible y la optimización de uno de sus parámetros resultante mediante la aplicación de un método meta heurístico basado en algoritmos genéticos. El estudio del proyecto, se enfoca en la aplicación de software libre para la ejecución de este propósito, en razón que los costes en la implementación de esta integración con software comercial resultan elevados para la mayoría de empresas existentes en el país.

En la etapa de simulación se opta por Jaamsim, un potente simulador con interfaz gráfica amigable al programador, desarrollado en Java. Para la construcción del algoritmo se ha optado por el mismo lenguaje de programación. La investigación proporciona un referente para la aplicación de una herramienta que permita mejorar la productividad y competitividad de las empresas en el mercado, concentrada en el análisis de los recursos, la planificación y la observación en el comportamiento de un sistema de manufactura flexible con el fin de evaluar los tiempos acumulados en sus procesos.

Objetivos

Objetivo General:

- Implementar un método meta heurístico de optimización aplicado a sistemas de manufactura automatizados sobre una base de software libre.

Objetivos Específicos:

- Investigar las características de métodos heurísticos de optimización y su factibilidad de aplicación a los sistemas de manufactura automatizados.
- Analizar ventajas, limitantes técnicas y operativas del método heurístico elegido durante la investigación.

Objetivos

Objetivos Específicos:

- Diseñar un método heurístico que se acople a un simulador de código abierto que pueda optimizar los procesos de producción de los sistemas de manufactura automatizados.
- Obtener un modelo en el simulador de código abierto adaptado con métodos Heurísticos y comparar contra la metodología de “Programación adaptativa de sistemas de fabricación flexibles con restricciones de manejo de materiales utilizando algoritmos genéticos y redes coloreadas temporizadas de Petri” desarrollada por el tutor del proyecto de tesis.

Descripción del Problema

- ▶ En el mundo donde índices de competitividad crecen cada día, un requerimiento primordial es la correcta planificación de los procesos por medio de la optimización esto con el fin de un aumento en la productividad. Para los sistemas de manufactura, además de una buena planificación, es requisito que sean flexibles para adaptarse a las necesidades del mercado; solo las empresas con un excelente manejo de sus procesos pueden mantenerse líderes en sus sectores de producción.

Descripción del Problema

- ▶ Primero: El problema radica en que cada caso de manufactura genera sus propias condiciones de producción, esto a su vez conlleva una planificación y flexibilidad únicas para el o los procesos de manufactura desarrollados dentro de una empresa.
- ▶ Segundo: En la actualidad existen paquetes de software que simulan los entornos de producción conocidos como software de eventos discretos, sin embargo, en su mayoría son de paga y con costes elevados de implementación, poco rentables para la mayoría de empresas en el Ecuador. Si bien, existen también opciones en Software Libre no están enfocados a un usuario promedio, ya que requiere conocimientos medios a altos de programación e ingeniería en procesos de manufactura. Así mismo, el esporádico uso de este tipo de software y/o capacitación del personal a cargo no justifica los costes generados durante la implementación para las empresas locales a las cuales está enfocado el proyecto.

Descripción del Problema

- ▶ Tercero: la elección de los algoritmos a implementar para tratar de abarcar varias soluciones a los casos expuestos ya que a nivel de programación de un algoritmo heurístico de optimización. Búsqueda local, Inteligencia de enjambre (Swarm Intelligence), Procedimiento de búsqueda adaptativa aleatoria codiciosa (Greedy Randomized Adaptative Search procedure GRASP), Búsqueda Reactiva (Reactive Search), Redes Neuronales (Neuronal Networks), Hacia atrás / Hacia adelante (Forward Heuristic BFH), Combinación Integral de Programación Lineal (Mixed Integer Linear Programming Formulation MILPF), Recocido Simulado (Simulated Annealing), Búsqueda Tabú (Tabu Search), Redes de Petri (Petri Networks).

Planteamiento del Problema

- ▶ El proyecto analiza la factibilidad de programar la solución mediante implementación de uno o varios algoritmos enfocándose principalmente en métodos meta heurísticos sobre una plataforma de código abierto que permite la simulación grafica de sistemas de manufactura flexible dirigido al usuario final, a su vez el software permitirá presentar una interfaz amigable con el usuario disminuyendo el nivel de complejidad y el tiempo al momento de modelar el sistema.
- ▶ La investigación de Valtierra, 2014 ofrece una metodología para optimizar los procesos de producción a través de métodos meta heurísticos basado en los factores críticos de la planeación y del control de la producción dentro de los sistemas de manufactura como: la selección óptima de las rutas de procesos y secuencias óptimas, otra investigación dada por Flores en el 2014 determina que se debe balancear la carga tanto en los lotes como en cada máquina disponible para la producción, garantizando un ahorro y facilitando la flexibilidad respondiendo a imprevistos de cambios de número de piezas, máquinas, herramientas entre otros, enfocándose en la disminución del tiempo de producción basado en el algoritmo heurístico de Greddy que resuelve problemas de selección de partes, formación de lotes y carga.

Planteamiento del Problema

- ▶ ¿Se podría optimizar cualquier software de código abierto para simulación de sistema de manufactura automatizados?
- ▶ ¿Se podría usar los métodos meta heurísticos para optimizar software de simulación?
- ▶ ¿Con métodos meta heurísticos se podría minimizar los tiempos de producción según las necesidades del usuario?

Planteamiento del Problema

- ▶ Se busca generar un código basado en métodos meta heurísticos que permita la adaptabilidad de los procesos de una empresa, optimizando las herramientas de análisis, diseño y modelación para Sistemas de Manufactura, enfocándose en complementar un software de código abierto destinado a empresas manufactureras ecuatorianas en el rango de microempresas a medianas empresas que no pueden invertir en software con costos muy altos y licencias limitadas sobre los \$20.000 USD aproximadamente.
- ▶ Este proyecto pretende aportar a la comunidad de software libre y la tendencia mundial que genera aplicaciones tipo Open Source una herramienta destinada al usuario final con costes bajos de implementación para las microempresas y medianas empresas de fácil uso, que ayudará a disminuir los tiempos de producción, optimizando las líneas de producción, número de lotes, secuencias y rutas de fabricación, además de poder ampliarse en futuras investigaciones.

Planteamiento del Problema

Así, el problema científico de la presente investigación es:

- ▶ ¿Cómo optimizar los tiempos de producción de los Sistemas de Manufactura Automatizados mediante métodos meta heurísticos, al considerar los criterios de factores críticos en las operaciones de manufactura, contribuyendo con una disminución de la competitividad en el mercado ecuatoriano?
- ▶ Como Objetivo de la Investigación queda definido los Sistema de Manufactura Automatizados y su Campo de Acción, la optimización de las operaciones de producción de los sistemas de manufactura automatizados mediante métodos meta heurísticos.

Marco Teórico

Sistemas de Manufactura Flexible (FMS)

Un sistema de manufactura flexible o su equivalente en inglés flexible manufacture system obteniendo las siglas en inglés como FMS, se lo puede definir según Cruz J., 2004 como “un conjunto de herramientas que ofrecen a la empresa de transformación industrial diferentes alternativas para el incremento de la productividad y como consecuencia mejorar la competitividad de la empresa”.

Técnicamente un FMS según el autor Bernal, M., 2015 “es un grupo de máquinas o estaciones de trabajo relacionadas entre sí y que realizan una tarea específica”, el autor Groove, 1990 define a los FMS como “grupos de estaciones de trabajo interconectadas por medio de un sistema de control que tiene la capacidad de procesar diferentes órdenes simultáneamente bajo un código de control numérico por cada estación”.

Tipos de Sistemas de Manufactura

1. Por el tipo de operación realizada

- Operaciones de procesamiento vs. operación de ensamble.
- Tipo de procesamiento u operación de ensamble

2. El número de estaciones de trabajo y el layout

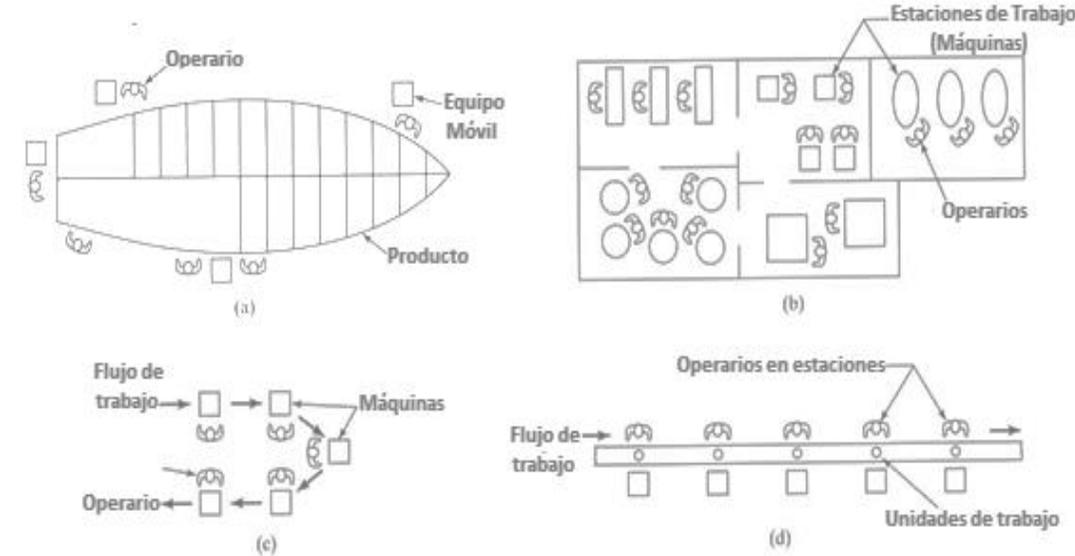
- Una estación vs. más de una estación
- Para más de una estación, ruteado variable vs. ruteado fijo

3. El nivel de automatización

Estaciones de trabajo manual o semi-automático que requieren tiempo completo del operador vs. completamente automatizada que requiere solamente atención periódica del operador

4. La diversidad de las partes o productos

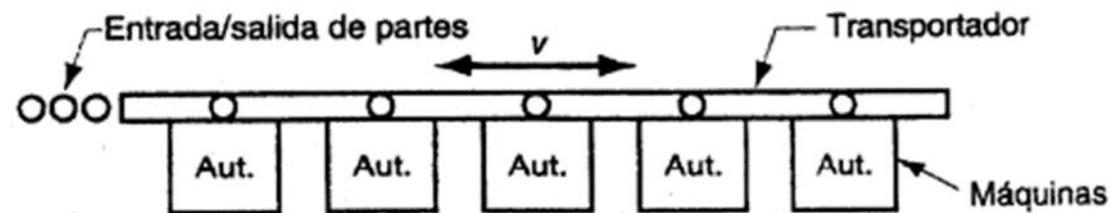
Todas las unidades de trabajo idénticas vs. variaciones en las unidades de trabajo que requieren diferencias en procesamiento



Tipos de distribución de FMS dentro de una planta

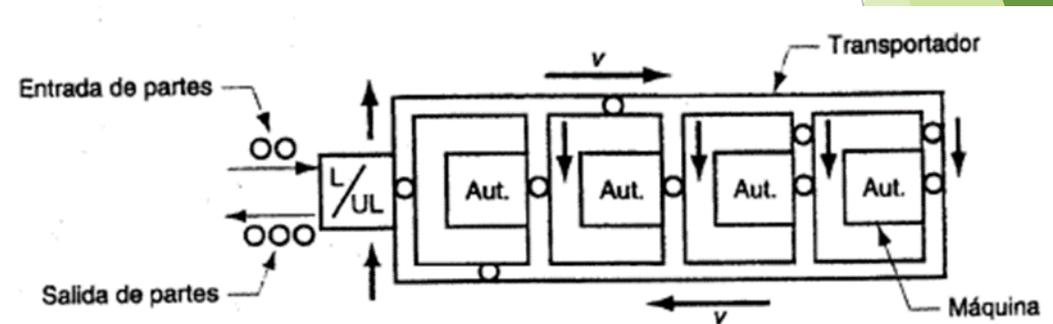
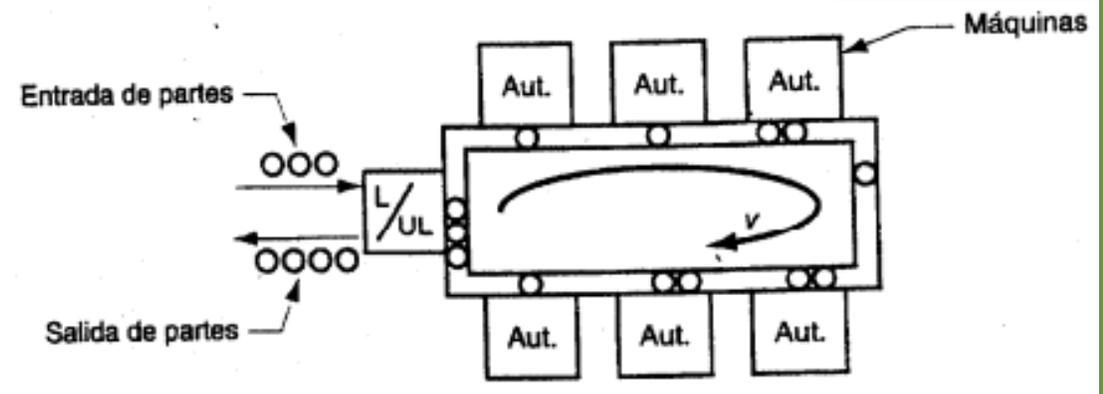
Los autores Alquilano & Graw, 2014 indican que para la elección de un tipo de distribución se debe tener en consideración la planeación, especificaciones de diseño, la programación y las estrategias de control de fabricación para operar el sistema, tomando en cuenta esos criterios establecen las siguientes distribuciones de planta:

- **En línea:** usa un sistema de transferencia para mover las partes entre las estaciones de procesamiento, realizando carga y descarga, existen movimiento bidireccional como un limitado flujo y secuencias básicas.



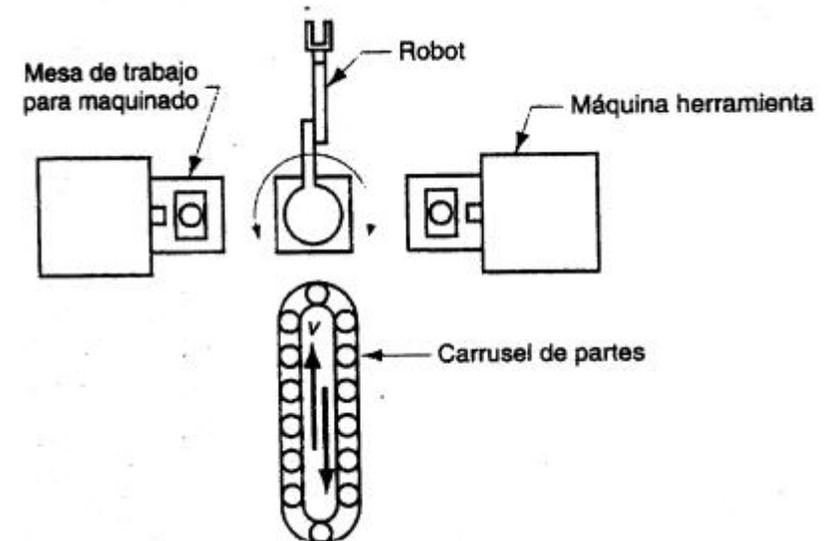
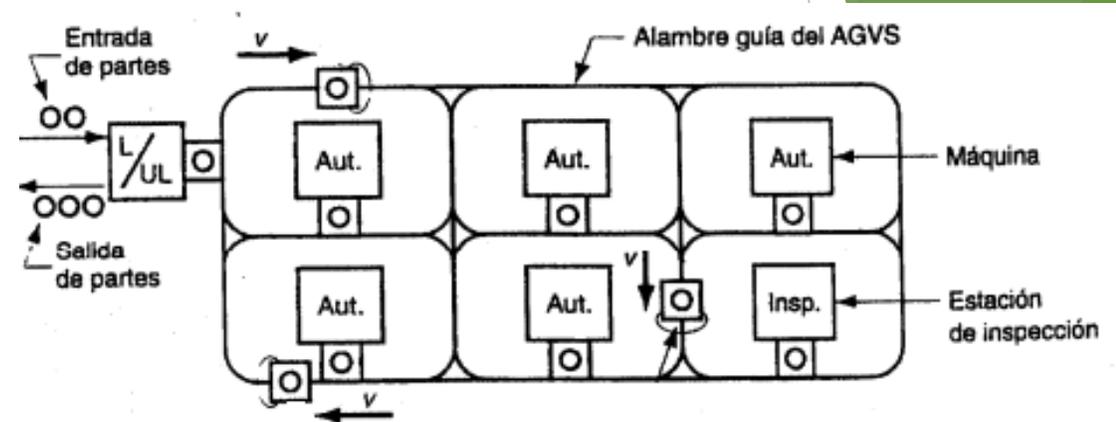
Tipos de distribución de FMS dentro de una planta

- ▶ **En ciclo:** consiste en un transportados con estaciones de trabajo ubicadas a su alrededor esta configuración permite realizar diferentes secuencias de maquinado ya que se puede acceder a cualquier máquina desde cualquier otra.
- ▶ **En escalera:** en esta configuración se puede realizar secuencias de procesamiento, sus estaciones de trabajo se encuentran en peldaños con forma de escalera.



Tipos de distribución de FMS dentro de una planta

- ▶ **En campo abierto:** trata sobre una configuración más compleja que consiste en varios ciclos anidados.
- ▶ **Centrada en un robot:** un robot es el encargado de la carga y descarga de las máquinas en la celda.



Tipos de FMS dentro de acuerdo a su rango de flexibilidad

- ▶ **Espectro reducido:** produce un número limitado de partes pequeñas de diferentes geometrías o diseños.



- ▶ **De alto espectro:** producen familias de partes numerosas con variaciones sustanciales en la configuración de las partes y en la secuencia de operación



Sistemas de producción

Los sistemas de producción se definen como la actividad o conjunto de actividades que se realizan para producir y distribuir un producto o servicio, se compone de entradas (insumos o materia prima), proceso de conversión (transforma la materia prima en productos para el mercado) y salidas (producto para consumo intermedio o producto final). Celeberrima, 2019.

Los sistemas de producción son diseñados y mejorados para optimizar utilidades del productor, lograr la satisfacción de los clientes y mejorar las condiciones laborales.



Tipos de procesos productivos

Según EAE Business School, 2018 nos indican que, para aprovechar los recursos, flexibilidad para responder a los cambios y el trabajo en condiciones de calidad existen cuatro procesos productivos que se detallan a continuación:

- ▶ **Producción por trabajo:** también llamada producción bajo pedido, tiene la finalidad de concentrar todos los esfuerzos en un solo producto a la vez, cada resultado es diferente ya que se trata de un concepto asociado a un uso intensivo de mano de obra. Los procesos pueden ser combinados entre métodos manuales y mecánicos.
- ▶ **Producción por lotes:** esta producción se basa en la producción de una pequeña cantidad de productos idénticos y limitada, su modalidad puede ser intensiva en mano de obra, aunque generalmente se introduce el concepto de plantillas o modelos, que agilizan la producción, reducen el factor de personalización. Este tipo de producción produce más dificultades a la hora de organizar el funcionamiento.



Tipos de procesos productivos

- ▶ **Producción en masa:** se diferencia por la producción de cientos de productos idénticos, por lo general en una línea de producción cuenta con un sistema automatizado de tareas que permite dar una salida a un volumen de productos más elevado utilizando menos trabajadores, esta opción implica el montaje de un número indeterminado de componentes individuales, piezas requeridas de un proveedor.
- ▶ **Producción de flujo continuo:** la diferencia entre ésta y la producción en masas es que, en este caso, la línea de producción se mantiene en funcionamiento los siete días de la semana a 24 horas. Consiguiendo maximizar la producción, reduciendo costos de inicio y paro de procesos. Se debe considerar que esta producción cuenta con procesos altamente automatizados y en la que se requiere de menos trabajadores, con productos con menos fallas.



Factores que integran un sistema de producción

- ▶ **Mano de obra:** es el recurso más valioso dentro de un sistema de producción, forma parte activa del proceso de fabricación, contribuye a optimizar el uso de recursos materiales y técnicos.
- ▶ **Maquinarias y equipos:** son las herramientas empleadas por los operarios para lograr la transformación de las materias primas, el correcto funcionamiento está sujeto a la aparición de desperfectos que no pueden ser corregidos con el mantenimiento preventivo.
- ▶ **Materiales:** se hace referencia tanto a la materia prima como a insumos indirectos y productos terminados, los fallos en relación al abastecimiento de materiales en los sistemas de producción ocasionan altos costos.



Factores que integran un sistema de producción

- ▶ **Método:** son las secuencias detalladas de los procesos y la ruta de operaciones que deben seguirse dentro de los sistemas de producción para garantizar la fabricación de los productos terminados, las operaciones son divididas en una serie de tareas o actividades que deben ser realizadas para culminar satisfactoriamente la operación.
- ▶ **Mediciones:** en todo sistema de producción se realizan mediciones para determinar si las materias primas y los insumos satisfacen los requerimientos de calidad, adicionalmente, también se realizan mediciones a la producción en proceso para controlar que sean respetados los rangos de tolerancia admitidos en las diferentes etapas del sistema de producción.



Métodos heurísticos o de optimización

Los métodos de optimización permiten obtener soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable” sirven para intentar alcanzar la mejor solución posible en un tiempo razonable, ya sea para minimizar o maximizar la solución, con ayuda de una función que evalúa la calidad de la solución en cada momento.

Los métodos meta heurísticos se aplican cuando las soluciones son muy complejas, con espacios de búsqueda muy grandes y no se puede realizar una exploración sistemática del sistema para hallar la mejor solución, por lo cual el método elimina las rutas de búsqueda que generen la peor solución basadas en un punto inicial definido por el usuario, a continuación se enlistan los métodos heurísticos o de optimización basados en sus principales características.

Métodos heurísticos o de optimización

- ▶ **Escalada (Hill climbing):** consiste en aplicar técnicas de mejora iterativa para solucionar problemas de espacio de estado, el método escoge a cada paso el sucesor con mejor valor en función del estado inicial seleccionado.
- ▶ **Optimización basada en Nubes de Partículas (Particle swarm optimization):** inspirado en el comportamiento social del vuelo de bandadas de aves y el movimiento de banco de peces, estos sistemas se componen de varias partículas que se mueven por el espacio de búsqueda durante la ejecución de algoritmo, se compone de entidades simples con acciones locales (incluyendo interacciones con el ambiente). El resultado de la combinación de comportamientos simples es la aparición de comportamientos complejos y la capacidad de conseguir buenos resultados como un equipo

Métodos heurísticos o de optimización

- ▶ **Algoritmos de Colonias de Hormigas (Ant Colony Optimization):** es una técnica probabilística para resolver problemas computacionales que pueden reducir al problema de encontrar buenos caminos a través de grafos, inspirados en el comportamiento de las hormigas, que son insectos sociales que viven en colonias dirigidas al desarrollo grupal como un todo más que a un desarrollo individual. El comportamiento de las hormigas funciona según el principio de que cada hormiga se mueve de manera aleatoria; depositan feromonas en el camino que recorren las hormigas detectan el camino principal
- ▶ **Enfriamiento simulado (Simulated annealing):** consiste en elegir un sucesor de entre todos los posibles según una distribución de probabilidad, dicha elección permite empeorar la solución actual, es decir, puede escogerse (probabilísticamente) estados peores, de este modo se dan pasos parcialmente aleatorios por el espacio de soluciones buscando la mejor solución, esto permite al algoritmo poder salir de óptimos locales.

Métodos heurísticos o de optimización

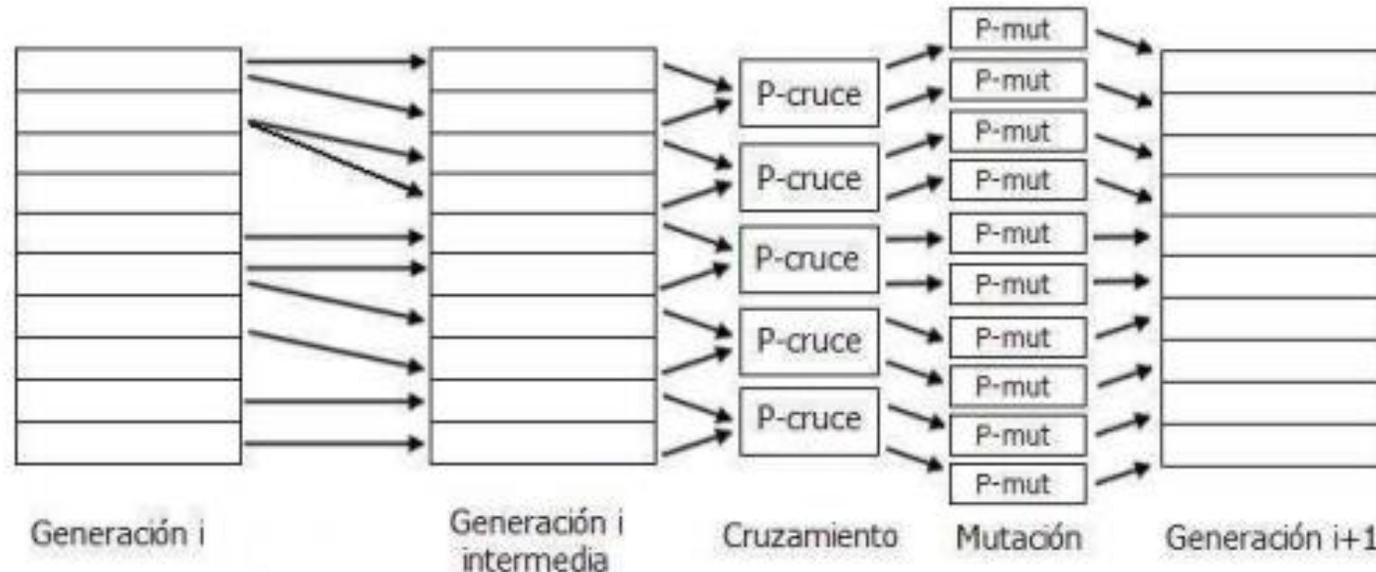
- ▶ **Algoritmos Genéticos (Genetic algorithms):** son métodos adaptativos, generalmente usados en problemas de búsqueda y optimización de parámetros, basados en la reproducción sexual y en el principio de supervivencia del más apto entre secuencias con intercambio de información estructurado, aunque aleatorio, para construir así un algoritmo de búsqueda.

Este tipo de método consiste en realizar una escalada en paralelo inspirada en los siguientes mecanismos de selección natural:

- ❑ La adaptación de los seres vivos al entorno en el que viven.
- ❑ La supervivencia, reproducción y sus posibilidades según las características de cada individuo.
- ❑ La combinación de individuos, que pueden llevar a individuos mejor adaptados.
- ❑ Las analogías de la selección natural con la búsqueda local son las siguientes:
- ❑ Las posibles soluciones se representan como los seres vivos, es decir, como los individuos que se adaptan al medio.
- ❑ La función que evalúa la calidad de cada solución calcula la adaptación de cada individuo.
- ❑ Basándose en la reproducción de los individuos, se supone que combinando buenas soluciones se puede obtener soluciones mejores.
- ❑ Apoyándose en el mecanismo de evolución, se selecciona las mejores soluciones sucesivamente.

Métodos heurísticos o de optimización

- ▶ Los parámetros del algoritmo genético son:
 - ❑ El número total de individuos de la población (que es constante en cada generación)
 - ❑ La proporción del total de los individuos que intervienen en la reproducción en cada generación, es decir, la proporción de individuos que serán padres.
 - ❑ La proporción del total de los padres que se escogen de entre los mejores individuos de la población, es decir, la proporción de padres que se eligen por su nivel dentro de la población.
 - ❑ La probabilidad de que ocurra una mutación, que generalmente es un número muy bajo.



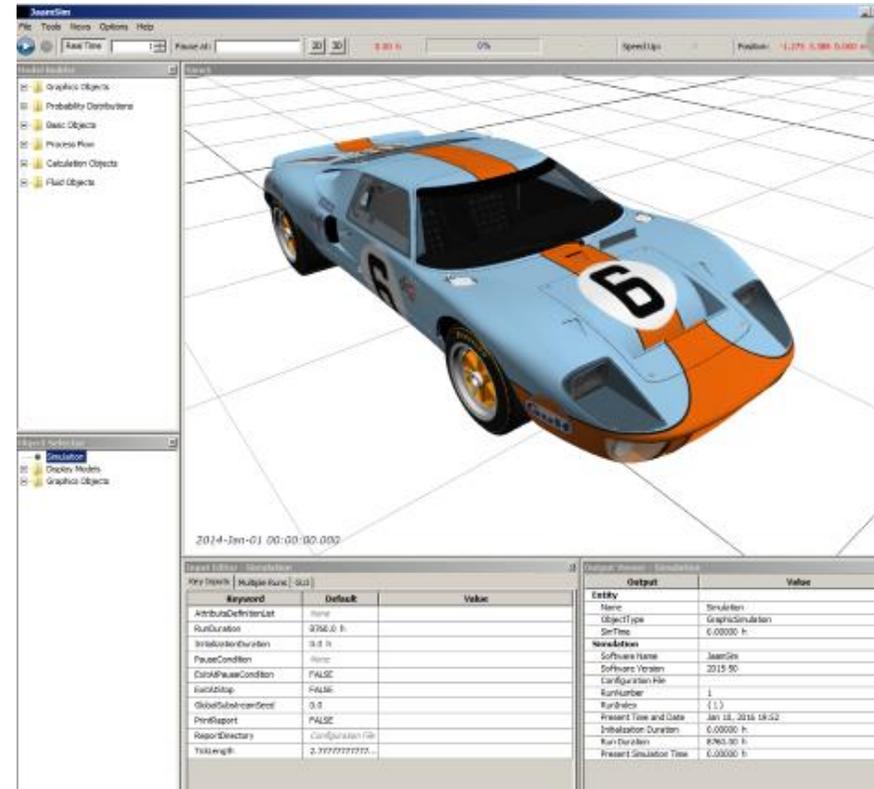
Definición de la Solución

Para el presente proyecto se utilizará software libre como herramienta para encontrar una solución y considera los siguientes aspectos:

- ▶ El desarrollo de una estación FMS; el diseño, planificación, simulación y ejecución, se contemplan varios componentes, por ejemplo: máquinas, robots, vehículos automatizados, entradas, salidas; que configurados en conjunto, deben fabricar productos a través de secuencias determinadas en escenarios complejos, razón por lo cual obtener una herramienta de simulación gráfica que considere la toma de decisiones en la ejecución de todas las operaciones, en una forma correcta y entendible al usuario final, es un punto que se debe tener en cuenta.
- ▶ El software de simulación debe presentar las siguientes características: flexibilidad, facilidad de uso e integración, coste razonable, capacidad de animación y depuración, poseer capacidades estadísticas y de manejo de datos, contar con documentación y soporte.
- ▶ El resultado de la simulación de un sistema de eventos discretos, deberá ser evaluado mediante la aplicación del algoritmo meta heurístico, que optimice la producción de los productos generados.

Definición de la Solución

Dentro de las opciones investigadas para la simulación en software libre, la que mejor se ajusta a los requerimientos que se han especificado, es Jaamsim, (Java Animation Modelling and Simulation) un software desarrollado por la empresa Ausenco; dirigido a una amplia audiencia de profesionales, investigadores y estudiantes. Es multiplataforma y su ejecutable, el manual del usuario, el manual de programación y los ejemplos están disponibles a solicitud de los autores



Definición de la Solución

The screenshot shows the JaamSim software interface with the following components highlighted by numbered red boxes:

- 1**: The main application window title bar and menu bar.
- 2**: The central 3D visualization area, currently displaying a grid and the text "Model-Title".
- 3**: The left-hand sidebar containing a tree view of simulation objects such as Graphics Objects, Probability Distributions, Basic Objects, Resource Objects, Process Flow, Calculation Objects, Fluid Objects, and SubModel Objects.
- 4**: The Object Selector panel, which shows a hierarchical view of the simulation environment, including Simulation, Model, Display Models, and Graphics Objects.
- 5**: The Input Editor - Simulation panel, which contains a table for defining simulation parameters.
- 6**: The Output Viewer - Simulation panel, which displays the simulation's output data.
- 7**: The Property Viewer - Simulation panel, which shows a table of simulation properties.
- 8**: The Event Viewer panel, which displays simulation events and their details.
- 9**: The Log Viewer panel, which shows the simulation's execution log.

Keyword	Default	Value
AttributeDefintionLat	None	
CustomOutputLat	None	
RunDuration	8760.0 h	
InitializationDuration	0.0 h	
PauseCondition	None	
DefaultPauseCondition	FALSE	

Entity	Value
Name	Simulation
ObjectType	GraphsSimulation
SimTime	0.00000 h
Simulation	
Software Name	JaamSim
Software Version	2019-09
Configuration File	
RunNumber	

Property	Type	Value
assertionsDisabled	boolean	true
active	BooleanInput	true
attributeDefintionLat	AttributeDefint...	
attributeMap	HashMap	
customOutputMap	HashMap	
desc	StringInput	
entityName	String	
entityNumber	long	100

Ticks	SimTime (h)	Priority

Loading Simulation Environment ...
Simulation Environment Loaded
Found OpenGL version: 4.3 (Compat profil
Found GLSL: #version 430 comp
OpenGL Major: 4 Minor: 3 IsCo

Definición de la Solución

Algoritmos Genéticos

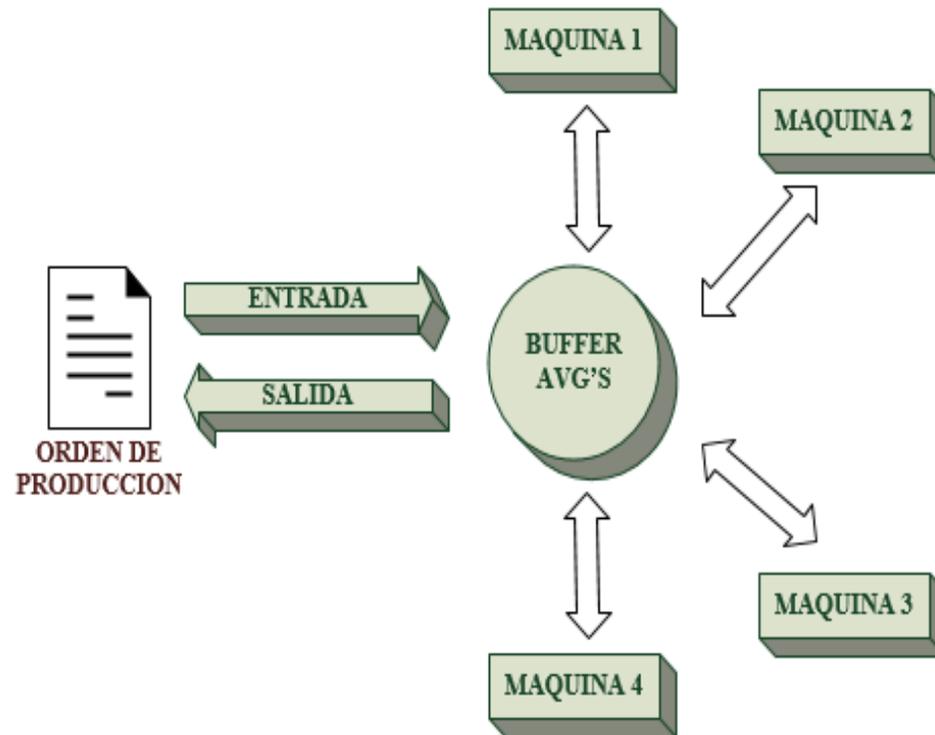
Características:

- ▶ Trabajan con un conjunto de puntos
- ▶ No están sujetos a restricciones
- ▶ Utilizan operadores probabilísticos
- ▶ Resultan fácil de utilizar en arquitecturas paralelas modernas
- ▶ Son algoritmos estocásticos es decir dos ejecuciones distintas pueden dar dos soluciones distintas.
- ▶ Utilizan una función objetivo que da la información de lo adaptados que están los individuos, y no las derivadas u otra información auxiliar.
- ▶ Las reglas de transición son probabilísticas, no determinísticas.

Implementación de la Solución

Para este experimento, se considera una FMS que cuenta con:

- ▶ Una estación de entrada/salida de materia prima y producto terminado,
- ▶ Cuatro estaciones con máquinas para procesamiento de los productos,
- ▶ Un buffer para los AVG's (Automatic Guided Vehicles/ Vehículos de guiado automático) que transportará los productos entre estaciones.



Implementación de la Solución

Basado en los puntos anteriores se considera la necesidad de métodos para afrontar los problemas para lo cual se toma en cuenta las siguientes restricciones:

- ▶ Todos los productos serán procesados en el mismo FMS.
- ▶ Toda la materia prima está a punto para procesar y tienen una tasa de llegada constante a la estación de entrada/salida.
- ▶ Cada Máquina puede manejar una operación para un trabajo a la vez.
- ▶ Todos los trabajos pasarán por el Buffer para su distribución entre las máquinas hasta que sean procesados por completo
- ▶ Las distancias entre estaciones son equidistantes.
- ▶ Están predefinidas las secuencias de cada trabajo y los tiempos de servicio para cada producto en las estaciones.
- ▶ Se asignará el primer trabajo en cola a la estación disponible correspondiente
- ▶ •Una vez iniciada la operación en una máquina no pueda ser detenida.

Diagrama de flujo de simulador

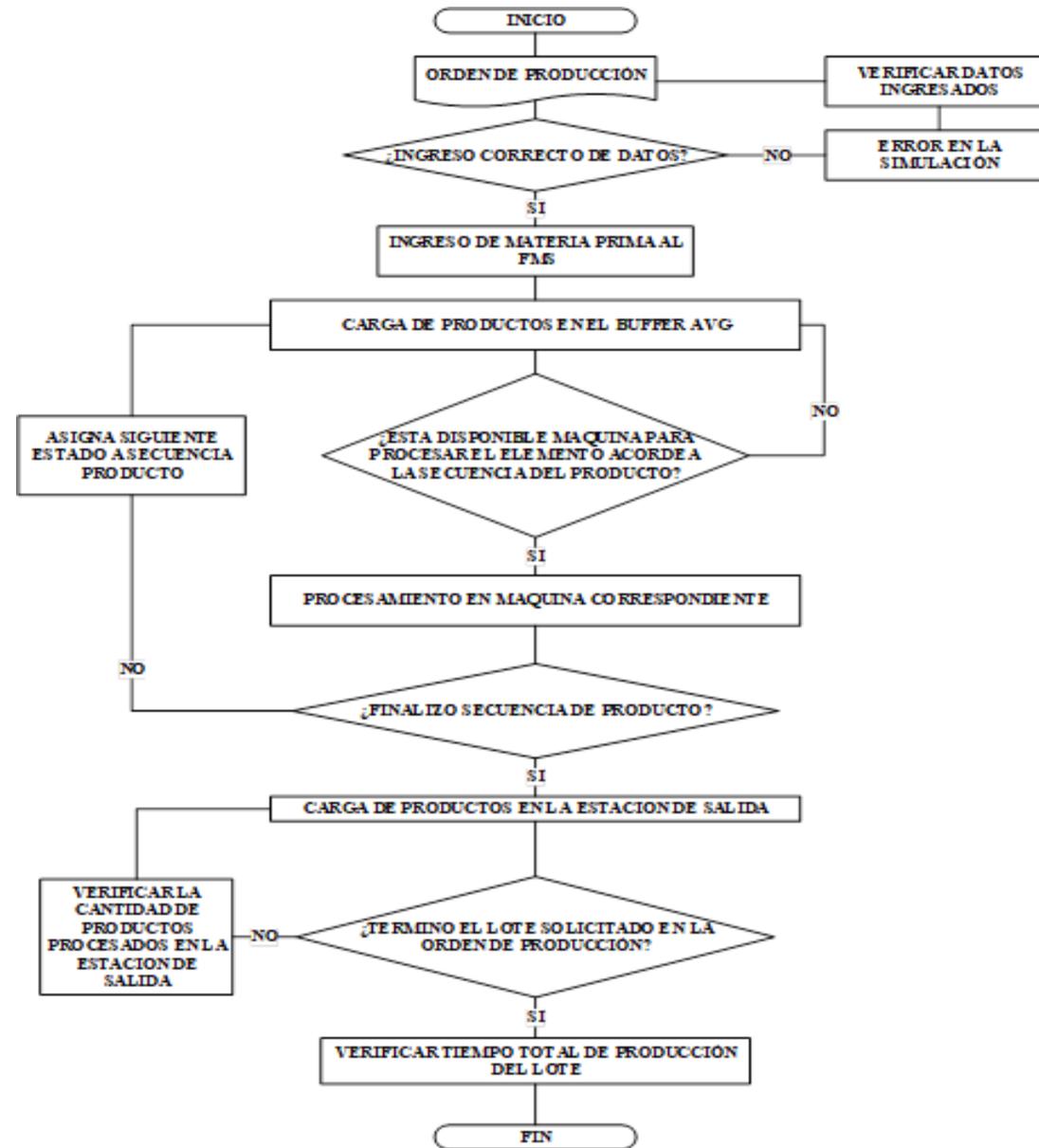
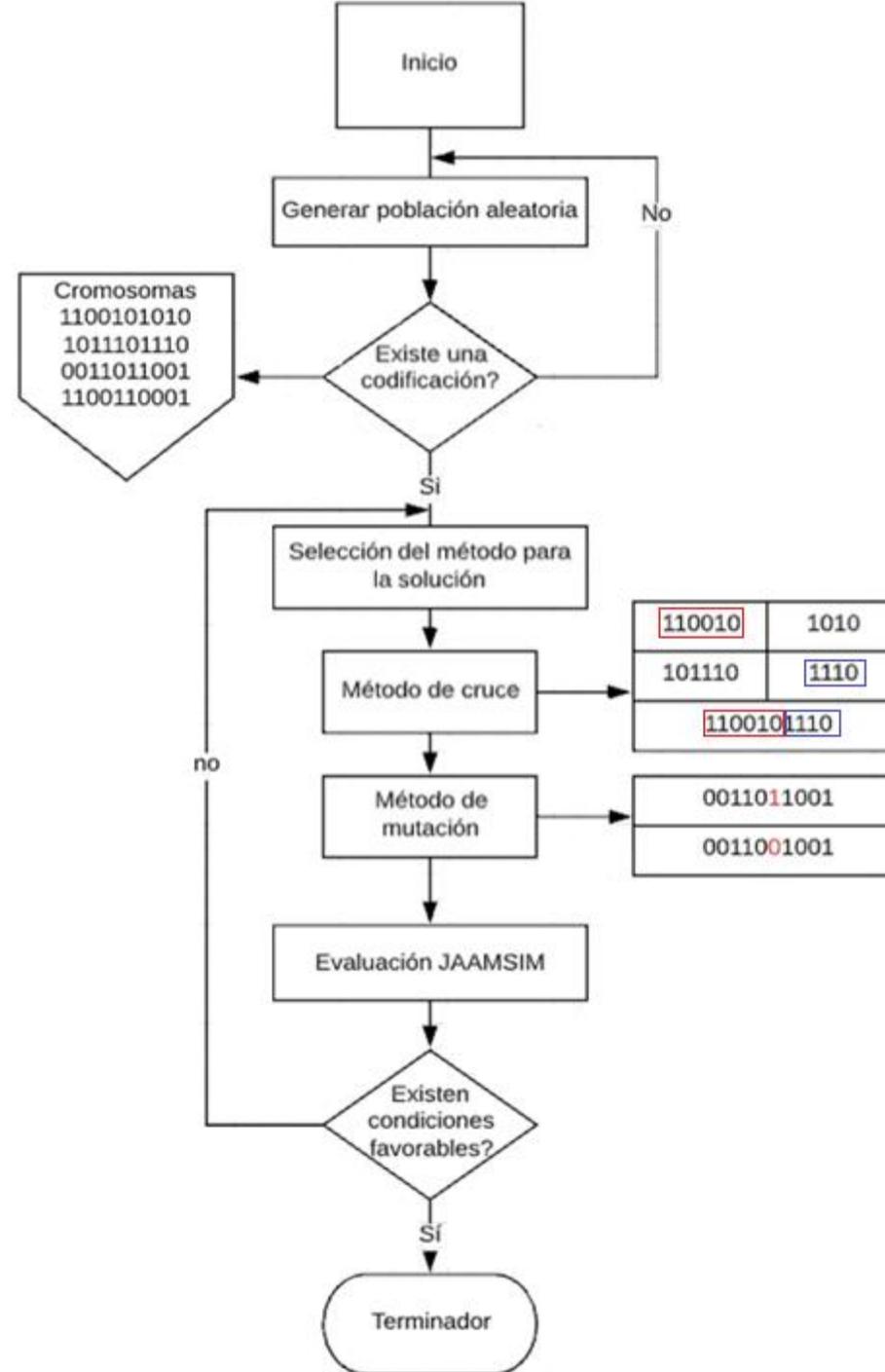


Diagrama de flujo de algoritmo



Jaamsim Simulación

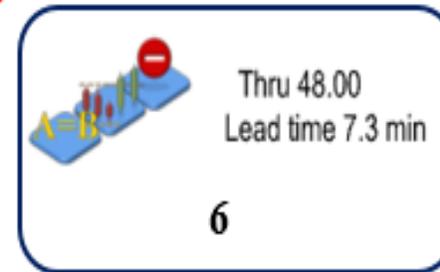
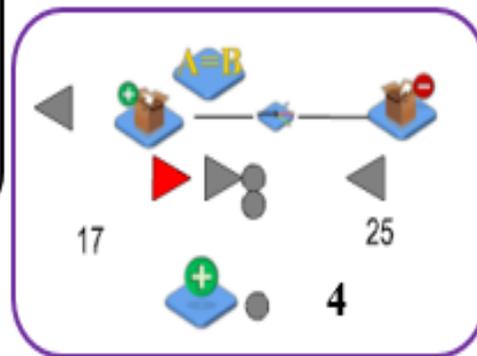
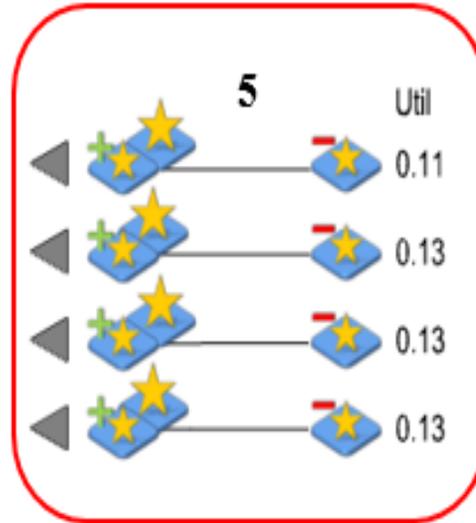
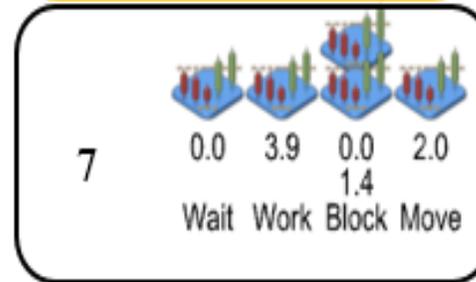
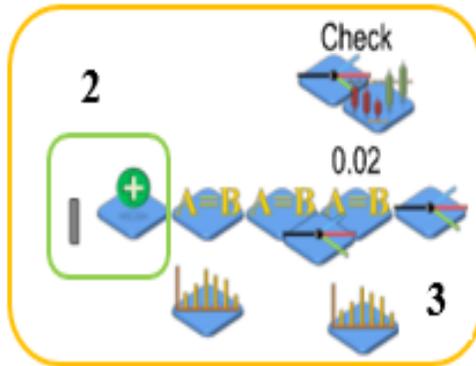
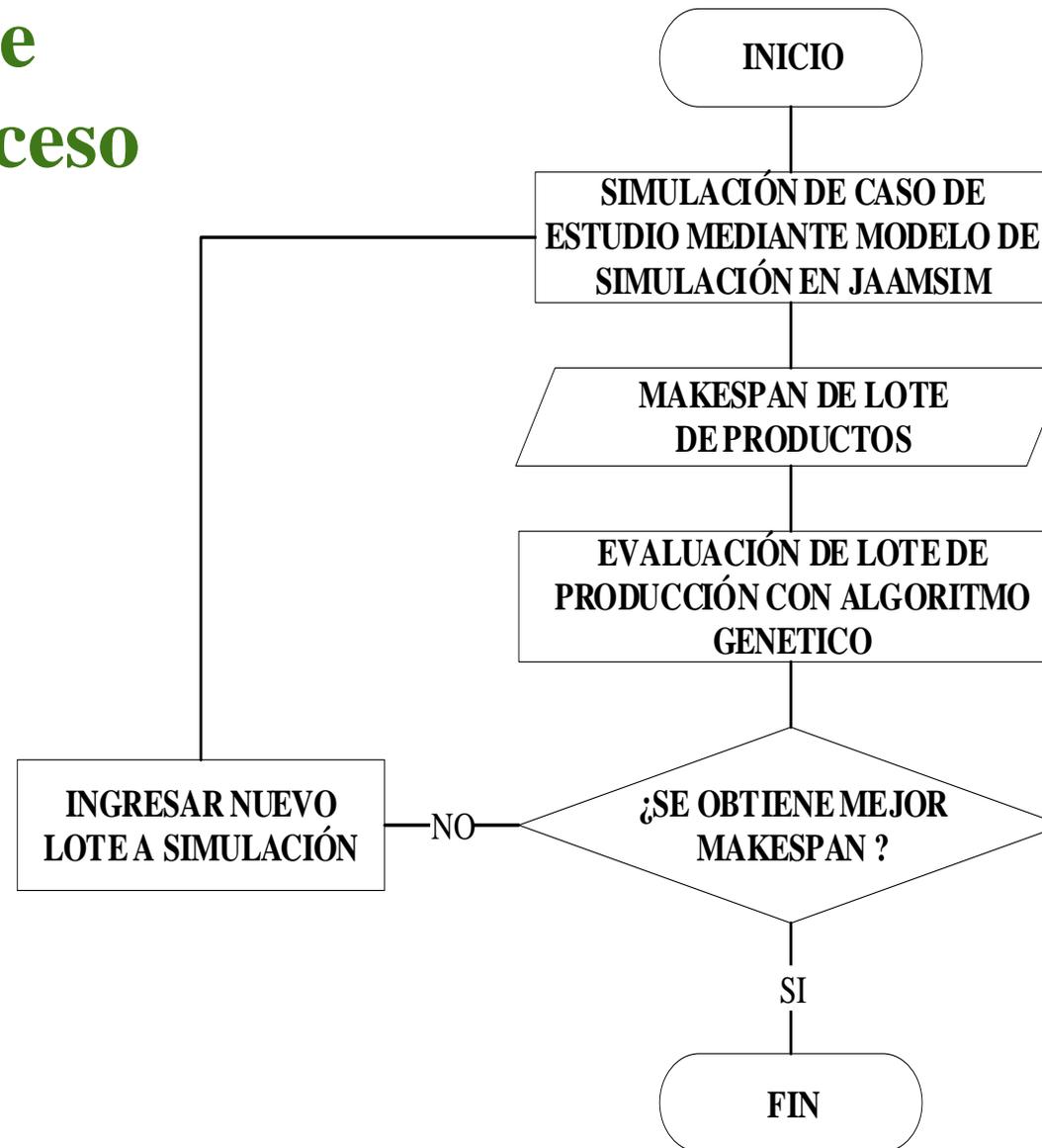
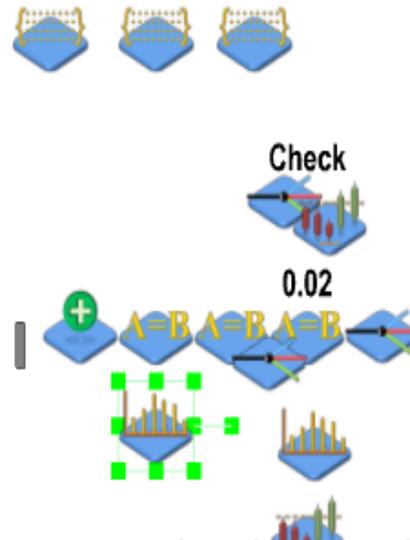


Diagrama de flujo de proceso



Resultados

Producto	Operación 1		Operación 2		Operación 3		Operación 4		Cantidad
	Máquina	Tiempo	Máquina	Tiempo	Máquina	Tiempo	Máquina	Tiempo	
A	1	2	2	2	3	2	4	2	3
B	2	2	4	4	3	2	1	2	4
C	1	3	2	2	3	3	4	4	2
D	3	5	1	2	4	4	2	3	1



- A = 1
- B = 2
- C = 3
- D = 4

Input Editor - JobTypeDistribution

Key Inputs Graphics

Keyword	Default	Value
AttributeDefinitionList	None	
CustomOutputList	None	
UnitType	None	DimensionlessUnit
RandomSeed	None	1
MinValue	-Infinity	1
MaxValue	Infinity	4
ValueList	None	1 2 3 4
ProbabilityList	None	0.3 0.4 0.2 0.1

Resultados

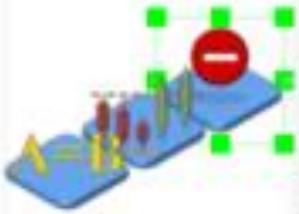
Object Selector

- Simulation
 - View
 - Display Models
 - Graphics Objects
 - Probability Distributions
 - DiscreteDistribution
 - DistrST
 - JobTypeDistribution
 - Basic Objects
 - Resource Objects
 - Process Flow

Input Editor - Simulation

Key Inputs Multiple Runs

Keyword	Default	Value
AttributeDefinitionList	None	
CustomOutputList	None	
RunDuration	525600,0 min	1,79 h
InitializationDuration	0,0 min	0 h
PauseCondition	None	
ExitAtPauseCondition	FALSE	



Output Viewer - JobDeparture

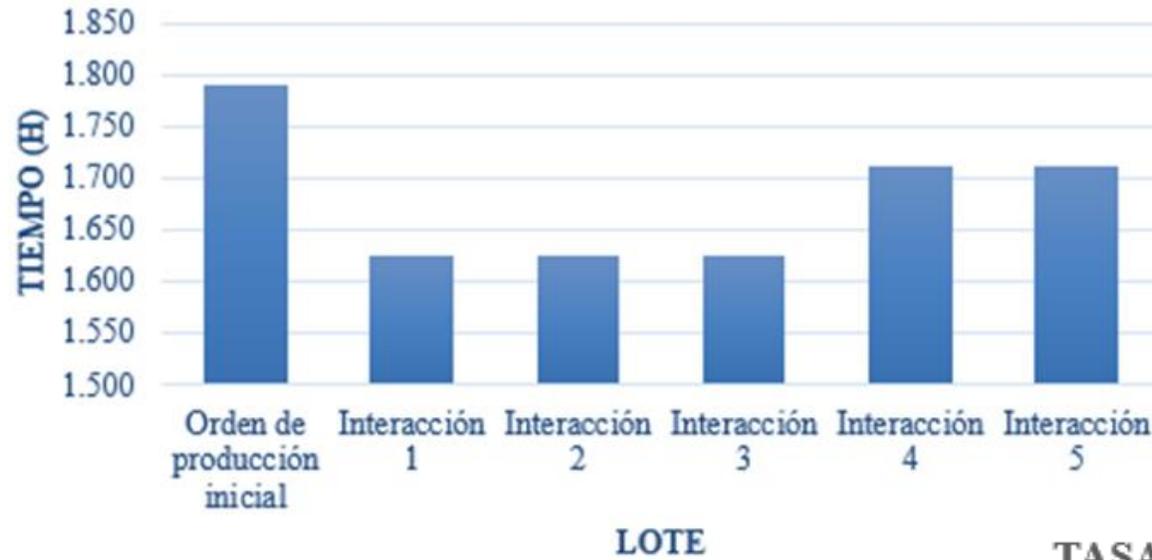
Output	Value
WorkingTime	0,00000 min
StateTimes	{None = 107,4} min
TotalTime	107,400 min
LinkedComponent	
obj	null
NumberAdded	10
NumberProcessed	10
NumberInProgress	0
ProcessingRate	5,58659 /h
ReleaseTime	97,4722 min

Resultados

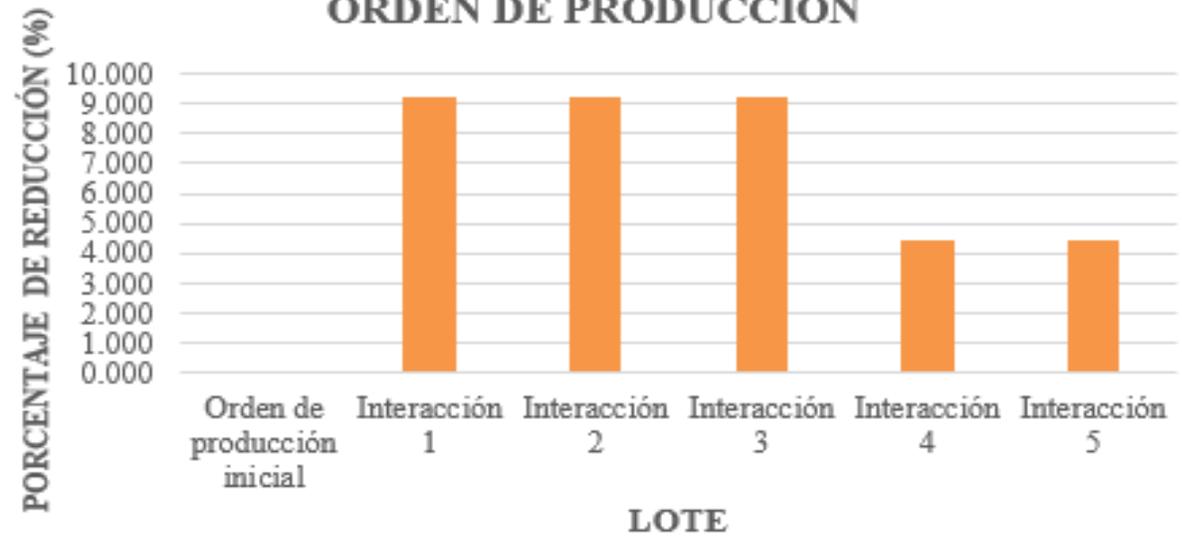
	TIPO DE PRODUCTO	PRODUCTO CODIFICADO	PROBABILIDAD DE PRODUCCIÓN	EVALUACIÓN DE TIEMPO EN SIMULADOR (HORAS)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TIEMPO (%)	TIEMPO REDUCIDO (H)
POBLACIÓN INICIAL (ORDEN DE PRODUCCION)	[A A A B B B B C C D]	[1 1 1 2 2 2 2 3 3 4]	[0.3 0.4 0.2 0.1]	1.79	0.00	0.000
INTERACCION ALGORITMO GENETICO 1	[A A A A B C B B A D]	[1 1 1 1 2 3 2 2 1 4]	[0.5 0.3 0.1 0.1]	1.625	-9.22	0.165
INTERACCION ALGORITMO GENETICO 2	[A A A A B C B B A D]	[1 1 1 1 2 3 2 2 1 4]	[0.5 0.3 0.1 0.1]	1.625	-9.22	0.165
INTERACCION ALGORITMO GENETICO 3	[A A A A B C B B A D]	[1 1 1 1 2 3 2 2 1 4]	[0.5 0.3 0.1 0.1]	1.625	-9.22	0.165
INTERACCION ALGORITMO GENETICO 4	[A A A B B C B B A D]	[1 1 1 2 2 3 2 2 1 4]	[0.4 0.4 0.1 0.1]	1.71	-4.47	0.080
INTERACCION ALGORITMO GENETICO 5	[A A A B B C B B A D]	[1 1 1 2 2 3 2 2 1 4]	[0.4 0.4 0.1 0.1]	1.71	-4.47	0.080

Resultados

EVALUACIÓN TIEMPO PRODUCCIÓN LOTE



TASA DE REDUCCIÓN LOTES NUEVOS VS ORDEN DE PRODUCCIÓN



CONCLUSIONES

- ▶ A partir de la información investigada sobre los métodos heurísticos de optimización, se determinó que se puede crear herramientas para facilitar la modelación y análisis de sistemas de manufactura automatizados en las que se debe considerar la particularidad para cada caso de estudio y realizar una correcta elección de los parámetros para obtener un resultado favorable.
- ▶ Los métodos heurísticos de optimización son herramientas robustas que permiten modelar y analizar con flexibilidad los sistemas, existiendo una amplia variedad de métodos. Su elección requiere de experiencia en campo de manejo de sistemas de manufactura para que bajo un excelente criterio analítico se realice la mejor elección del método para que se adapte al modelo propuesto.
- ▶ En la presente investigación se desarrolló un algoritmo heurístico en código abierto, capaz de optimizar secuencias de producción basado en algoritmos genéticos de n individuos con n cromosomas y determinar la secuencia más óptima para sistema de manufactura automatizados, así como hallar la mejor solución de problemas combinatorios muy grandes; resultados que pueden ser acoplados y comprobados en la herramienta Jaamsim.

CONCLUSIONES

- ▶ •La comparativa con el caso de estudio, citada en Escobar L. ,2015; en el modelo aplicado con AVG's; presenta un comportamiento análogo al descrito en la investigación de referencia; cabe indicar, que al igual que se analiza en Escobar L., 2015 se debe considerar las restricciones para hacer al modelo cercano a la realidad.
- ▶ Con el número de interacciones evaluadas para la misma población inicial, se logró determinar que las mejores secuencias y disminución de tiempos de producción, en donde los resultados dominantes se obtuvieron en los cruces de individuos (hijos), también se presentaron soluciones en los individuos mutados, pero a diferencia de los anteriores presentaron con un porcentaje demasiado bajo.
- ▶ Considerando que se dieron variaciones aleatorias, las nuevas poblaciones obtenidas no presentaron variaciones drásticas al desempeño de la población inicial, no obstante, mejoraron un porcentaje a considerar, entre todas las iteraciones, determinando que el programa cumple con su función de optimizar.
- ▶ Jaamsim, como simulador de eventos discretos, resulto ser una herramienta potente y de interfaz amigable al usuario, su diseño de bloques permite un entendimiento del modelado de procesos fácil de asimilar. Sin embargo, una de las limitantes es la configuración e integración de los elementos, la cual demanda un conocimiento medio a alto del lenguaje de programación Java para el desarrollador de la simulación.

RECOMENDACIONES

- ▶ El apoyo de la comunidad en línea de Jaamsim es primordial en el entendimiento del software; se recomienda la interacción con los miembros del foro disponible en la internet para solventar dudas e inquietudes al respecto de futuros desarrollos.
- ▶ Es importante realizar un estudio concreto sobre el sistema de eventos discretos a optimizar, la particularidad que presenta cada sistema, limita el alcance al investigador en la implementación de soluciones globales para varios sistemas.
- ▶ Con el propósito de alimentar la documentación disponible sobre el entorno de simulación Jaamsim para la comunidad que emplea herramientas open source, se recomienda proponer más proyectos con la implementación de este software libre. Durante el desarrollo de la investigación se pudo apreciar que a pesar de que Jaamsim se encuentra lleva varios años en línea para su uso no se dispone de mucha información clara accesible para nuevos usuarios.
- ▶ En base a la flexibilidad presentada tanto en el simulador como en el método heurístico empleado, pueden ser modificados para cambiar la cantidad de productos a fabricar en el FMS.

PROYECTOS FUTUROS

- ▶ Describir una investigación para la optimización de sistemas de manufactura empleando otro de los métodos heurísticos disponibles y verificar su funcionamiento en el simulador de código abierto.
- ▶ Evaluar y definir las mejores reglas para ser utilizadas en la implementación del análisis meta heurístico de sistemas de manufactura flexible.
- ▶ Proponer un modelo de sistemas de manufactura flexible con gran escala de producción y explicar estrategias empleadas para el tratamiento de las colas en los servidores producidas por la alta demanda en las operaciones.
- ▶ Realizar el análisis variando el tipo de distribuciones estadísticas para la asignación de tareas sobre el modelo presentado y verificar el comportamiento del sistema.

GRACIAS
SU ATENCIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA