

INFORME IN EXTENSO DE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN CON/CON 2016

A. DATOS GENERALES DEL ESTUDIO

1. **Título del estudio.** “Algoritmos Genéticos en el Problema de Distribución de Planta”
2. **Código del estudio.** 161701071.
3. **Facultad.** Facultad de Ingeniería Industrial.
4. **Programa y Línea de investigación.** Desarrollo de modelos, simulación y optimización de procesos.
5. **Instituto, Centro o Unidad de Investigación.** Instituto de Investigaciones de Ingeniería Industrial.
6. **Miembros del equipo de investigación.** Indicar los nombres de **todos** los miembros del equipo (Responsable, miembros y colaboradores), precisando su participación y aporte en el estudio de acuerdo a las labores que le fueron asignadas.

RESPONSABLE

RUIZ LIZAMA, EDGAR CRUZ Coordinación y dirección del estudio de investigación.

MIEMBROS:

INCHE MITMA, JORGE LUIS Identificación de las variables dependientes e independientes relativas al problema del Facility Layout Problem (FLP)

HINOJOSA LAZO, HILMAR ANTONIO Revisión del estado del arte

HUARI EVANGELISTA, FELIX Estudio del funcionamiento y rendimiento de los AGs aplicados al problema FLP

HURTADO DIANDERAS SMITH, EULOGIO CARLOS Recopilación de datos

COLABORADORES:

FERNÁNDEZ CABRERA, LUIS MIGUEL Elaboración del informe

CARHUAJULCA MONTALVO, JOHN RICARDO Realización de las pruebas de rendimiento y bondad de los Algoritmos Genéticos

7. Firma del Responsable del estudio

RUIZ LIZAMA EDGAR CRUZ

RESPONSABLE

B. CONTENIDO DEL INFORME *IN EXTENSO*: ARTÍCULO CIENTÍFICO-ACADÉMICO REDACTADO

1. Resumen

Breve descripción del estudio, en no más de 300 palabras en relación a los objetivos propuestos, resultados obtenidos y unidades participantes y dificultades encontradas.

El estudio tiene con principal objetivo proponer una solución óptima al problema de distribución en planta en organizaciones de manufactura. Los objetivos secundarios son indagar acerca de los métodos que permiten optimizar el problema de distribución en planta, como es que un algoritmo genético resuelve el problema de distribución en planta proponiendo un nuevo algoritmo genético y plantear la simulación de experimentos numéricos que prueben la bondad del algoritmo propuesto.

Hasta el momento se ha revisado el estado del arte y se ha identificado como es que los algoritmos genéticos contribuyen a encontrar soluciones óptimas al problema de la distribución de planta. Teniendo esta información se está realizando la propuesta de un nuevo algoritmo genético que mediante operaciones de cruce y mutación conduzca a una solución óptima de la distribución en planta. Para probar la bondad del algoritmo propuesto se tomará de la literatura, cuatro problemas Tipo de distribución en planta ((Armour, & Buffa, 1963), (Bazaraa., 1975) y (van-Camp,D.J., Carter, & Vannelli, 1991). Para cada uno de estos, se establecerá un conjunto de experimentos numéricos que permitirán contrastar la bondad de la propuesta, en cuanto al espacio, tiempo y bondad de la solución obtenida y contrastada contra la de otras propuestas.

2. Palabras Claves

Presentar entre 4 a 6 palabras o frases cortas que permita la indización del Informe en la base de datos del VRIP.

Algoritmo Genético, Distribución en planta, optimización, meta heurística, operadores de cruce y mutación

3. Introducción - objetivos

Se expone la importancia de los resultados de la investigación, si se cumplieron los objetivos, si resolvió las preguntas y si demostró la hipótesis de la investigación, no incluir conclusiones del trabajo que se está presentando.

Aún se está en la fase de elaboración del algoritmo y luego se pasara a la fase de pruebas y contrastación del mismo por lo que no de momento no se tienen resultados.

3.1 Situación Problemática

Un elemento clave en los sistemas de manufactura y de servicios, es el diseño de las instalaciones o la distribución en planta.

El problema de la distribución en planta PLDP (Plan Layout Design Problem), conocido también como FLP (Facility Layout Problem), es concerniente con encontrar el arreglo espacial de una colección de lugares o instalaciones en un espacio determinado (Muther & McPherson, 1979).

Este es el problema que enfrentan las Gerencias de Gestión de Operaciones. La distribución en planta determina la ordenación de los medios productivos. (Muther & McPherson, 1979) propone para una planta industrial el sistema SPIF (Systematic Planning of Industrial Facilities), como un sistema compuesto por cinco subsistemas físicos interrelacionados entre ellos y con el entorno: (1) Sistema Distribución en Planta, (2) Sistema de Manutención-Almacenaje, (3) Sistema Edificio, (4) Sistema Instalaciones, y (5) Sistema Comunicaciones.

Debido al gran número de factores a considerar, lograr la distribución en planta de manera eficiente no es una tarea sencilla si no, todo lo contrario; pues una planta industrial, es un subsistema complejo en el que interactúan máquinas, materiales y hombres que se sirven de un conjunto de instalaciones.

“El problema de distribución de planta pertenece al grupo de problemas de optimización, consistente en la participación de una región plana de dimensiones conocidas (generalmente rectangular) en departamentos de área conocida, de tal manera que se minimice el costo asociado con las instalaciones previstas entre dichos departamentos. Estos costos pueden deberse al transporte (incluyendo costos asociados con la construcción de los sistemas de manutención) o preferencias entre departamentos” (Tate, & Smith, 1995) .

“El problema de la distribución en planta consiste en determinar la distribución más eficiente de un número de departamentos indivisibles con requerimientos de área desigual en el interior de una instalación. El objetivo es minimizar los costos del transporte de materiales dentro de la planta considerando dos grupos de restricciones: los requerimientos de área y las restricciones de localización de los departamentos (no pueden solaparse, deben ser colocados en el interior de la planta, y algunas pueden necesitar una localización fija o no pueden ser colocados en regiones específicas” (Meller & Gau, 1996).

“El problema de la distribución en planta consiste en la disposición física de un número dado de departamentos o máquinas con una configuración determinada. En el contexto de las máquinas manufactureras, el objetivo es minimizar el costo del transporte de materiales requeridos entre los diferentes departamentos” (Mavridou & Pardalos, 1997).

“El problema de la distribución en planta consiste en localizar la disposición óptima de un grupo de instalaciones sujetas a restricciones cualitativas o cuantitativas” (Shayan & Chittilappilly, 2004).

“El problema de distribución en planta de instalaciones, se plantea como la colocación de un conjunto de departamentos de área conocida y desigual sin que existan solapamientos, en una región plana de dimensiones conocidas, de tal forma que se minimicen los costes asociados a la interacción entre ellos. Los costos asociados a la distribución de los departamentos reflejan, en este caso, tanto costos de transporte, de materiales entre las instalaciones ubicadas en cada departamento, como los derivados del incumplimiento de ciertas preferencias de carácter cualitativo o cuantitativo, como, por ejemplo, la necesidad de adyacencia entre determinadas instalaciones derivadas del propio sistema productivo o la existencia de condiciones que garanticen la seguridad e higiene en el trabajo” (Diego-Más, 2006).

Dados los diferentes factores a considerar en la evaluación de las soluciones, se aconseja, desde luego que el problema sea abordado desde una perspectiva multicriterio (Muther, 1968); (Tompkins,J.A. & White, 1984); (Malakooti,B., 1989). Sin embargo; diferentes autores reconocen como fundamental la minimización del costo inherente al transporte de materiales entre las instalaciones (Lawler,E.L., 1963); (Tompkins,J.A. & White, 1984); (Matson, Mellichamp, & Swaminathan, 1992); (Sule,D.R., Instalaciones de manufactura, 2000), e incluso hay quien opina que los gastos totales de las operaciones de fabricación pueden ser atribuidos casi exclusivamente al transporte de materiales (Cameron,, 1952). En (Tompkins,J.A. & White, 1984) se afirma que entre el 20 y el 50% de los gastos totales de las operaciones de fabricación pueden ser atribuidos al transporte de materiales, y que una adecuada

distribución de las actividades puede reducir estos costos en, al menos, entre un 19 y 39%. En (Sule,D.R., Manufacturing facilities: Location planning and design, 1994) e (Islier,A.A., 1998) este porcentaje se sitúa entre el 30 y 75% de los gastos totales de las operaciones de fabricación. En (Matson, Mellichamp, & Swaminathan, 1992) el porcentaje es del 60% y en (Immer, 1953) de 40%.

Desafortunadamente los tomadores de decisiones que plantean soluciones óptimas a variados problemas en gestión de operaciones, han encontrado que hay una clase de problemas que son extremadamente difíciles de resolver. Estos problemas en la literatura se denominan *NP-hard*, por sus siglas en inglés (Nom Polynomial Hard) es decir “Problemas No Polinomiales Difíciles”. Entre estos problemas se encuentran: la secuenciación de proyectos (Project Scheduling), localización y distribución de instalaciones o facilidades o FLP (Facilities Layout Problem). Existiendo una gran variedad de métodos para su solución.

La presente investigación, plantea un nuevo algoritmo genético para la optimización del Problema de Distribución en Planta en organizaciones de manufactura, mediante la metodología de los Algoritmos Genéticos.

3.2 Formulación del problema

Problema General

¿Cuál será la solución óptima que permita una mejor distribución en planta en organizaciones de manufactura?

Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los métodos que permiten optimizar el problema de distribución en planta?
- b) ¿Cómo es el algoritmo genético aplicado a la solución del problema de distribución en planta?
- c) ¿Cómo se plantea la simulación de experimentos numéricos en el algoritmo genético ALGOCYM para contrastar sus resultados frente a otros algoritmos?

3.3 Justificación de la investigación

Esta investigación propone un nuevo algoritmo genético a partir de la revisión de los algoritmos genéticos existentes aplicados al problema de distribución en planta tal que brinde una solución óptima al problema FLP. El algoritmo se elabora a partir de los operadores genéticos de cruce y mutación, y genera opciones factibles para resolver el problema del arreglo físico de recursos en una planta; problema que envuelve restricciones en la forma de las configuraciones geométricas de las instalaciones o espacios requeridos.

- a) La presente investigación pretende contribuir con una solución óptima al problema que tiene toda organización manufacturera, en torno a la toma de decisiones que implica establecer la configuración de sus instalaciones. Para ello presentará un nuevo mecanismo para los operadores genéticos de cruce y mutación. Este aporte genera nuevo conocimiento a la metodología de los AG aplicados al FLP.

- b) La Distribución en Planta es aplicable a todos aquellos eventos en donde es necesaria la disposición de unos medios físicos en procesos industriales o de servicios, por lo que en muchas situaciones representa un problema complejo (Francis, & White, 1974). Por lo tanto, se justifica la presente investigación, por ser generadora de conocimiento en el tema del layout en planta de las organizaciones de manufactura.
- c) El presente trabajo contribuye con la optimización de la distribución en planta para las organizaciones manufactureras; siendo que una vez optimizada la distribución, en muchas situaciones ayuda al mejoramiento de la calidad y puede reducir hasta en un 50% del total de los costos operativos de la empresa (Tompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2003).
- d) La utilización de los Algoritmos Genéticos, son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, donde los métodos tradicionales, no son efectivos (Glover, & Melián, 2003).

Por ello la propuesta de investigación beneficiará a toda aquella organización de manufactura, que pretenda optimizar el problema de distribución en planta FLP, mediante la aplicación de un nuevo algoritmo genético (GA).

Objetivo general

Desarrollar el Algoritmo Genético ALGOCYM para optimizar la distribución en planta en organizaciones de manufactura.

Los objetivos específicos que se plantean son:

- a) Analizar del estado del arte de los métodos de resolución por algoritmos genéticos aplicados al problema de distribución en planta.
- b) Elaborar un nuevo algoritmo genético tal que genere una solución óptima al problema de la distribución en planta.
- c) Plantear experimentos numéricos, para contrastar los resultados del algoritmo genético ALGOCYM con otros algoritmos.

4. Metodología y técnicas de investigación utilizadas

Definir si la investigación es teórica o aplicada. La tipología debe ser precisa: estudio descriptivo, exploratorio, correlacional, experimental o cuasi experimental. Identificar la población-muestra seleccionada y las unidades de observación, en caso sea necesario. Debe señalarse las herramientas, instrumentos o técnicas aplicados en la recolección de los datos.

4.1 Tipo y diseño de investigación

Cuando se clasifican las investigaciones tomando como criterio el papel que ejerce el investigador sobre los factores o características que son objeto de estudio, la investigación puede ser clasificada como experimental o no-experimental. Es experimental, cuando el investigador no solo identifica las características que se estudian, sino que las controla, las altera o manipula con el fin de observar los resultados al tiempo que procura evitar que otros factores intervengan en la observación (Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

La presente investigación es del tipo experimental mediante simulación. Tomando en cuenta que el FLP es tratado generalmente como un conjunto de departamentos de áreas desiguales, el problema consiste en una región rectangular con dimensiones H (Height, Alto) y W (Width, ancho), una secuencia de departamentos de 1 hasta n cuyas áreas están pre - establecidas, el flujo y costo de materiales que viajan entre estos, y restricciones como la secuencia y las formas que estos departamentos pueden asumir. El objetivo es obtener el layout tal que minimice el costo total del flujo de materiales entre los departamentos (Shebanie,, 2004).

Las soluciones para este problema se formulan usando la estructura de bahías flexibles (Tong,X., 1991). La estructura de bahía flexible obliga a que los departamentos que ingresen a la bahía deben tener a lo más el ancho de la bahía. El número de bahías, el ancho de cada bahía, la secuencia de departamentos, el número de departamentos en cada bahía, y la altura de cada departamento dentro de una bahía están determinadas por la formulación de la bahía flexible. Existen $2^{n-3}n!$ distintas bahías flexibles para n departamentos (Tong,X., 1991), lo cual es un beneficio sustancial en términos de la CPU, considerando el FLP de áreas desiguales. Adicionalmente la reducción proporcionada por bahía flexible se justifica por que minimiza el flujo de materiales. La formulación de bahía flexible para área desigual FLP proporciona una media de layout generados con un uso razonable de requerimientos de la CPU (Shebanie,, 2004).

Una población inicial de candidatos layouts es generada mediante el algoritmo genético propuesto en esta investigación. El primer paso de la formulación de la bahía flexible es inicializar la secuencia de los n departamentos en orden numérico. Luego

los departamentos son seleccionados aleatoriamente y ubicados uno a uno. La primera selección es designada como el ultimo departamento en la secuencia, el segundo como el penúltimo, y así hasta que todos los departamentos han sido ubicados. El resultado en la bahía es tomado como un layout. En la ecuación 4.1, el número de bahías es determinado como una función del número de departamentos y las dimensiones para un layout.

$$ProbabilidadBahia = \frac{1}{\sqrt{n(\frac{W}{H})}} \quad (4.1)$$

donde:

n = el número de departamentos

W = el ancho de la facilidad

H = la altura de la facilidad

La probabilidad de la bahía se compara con la variación pseudo-aleatoria que se genera a partir de un número aleatorio semilla suministrado al problema. Para cada departamento, una nueva variación aleatoria es calculado y comparado con la probabilidad-bahía. Cuando la variación pseudo-aleatoria es menor que la probabilidad-bahía, se añade la bahía al layout. El ancho de una bahía es dado por la ecuación (4.2). El ancho de cada bahía manda el ancho de cada departamento en esa bahía. La altura de cada departamento es determinada por la ecuación (4.3) (Shebanie,, 2004).

$$w_b = \frac{A_b}{H} \quad (4.2)$$

$$h_i = \frac{a_i}{w_b} \quad (4.3)$$

donde:

w_b es el ancho de la bahía b , A_b es el área total de los departamentos en la bahía b , H es la altura de un layout, h_i es la altura del departamento i . Finalmente, si el ancho o altura de cualquier departamento es menos que su mínima longitud pre-especificada, ese departamento es etiquetado como infactible. Una vez que la población inicial de candidatos layout ha sido creada, el GA propuesto comienza el proceso de evolución (Shebanie,, 2004).

La presente investigación es del tipo experimental por simulación. La expresión gráfica del diseño experimental es la siguiente:

$$GE: A \times O_1$$

$$GC: A \quad O_2$$

donde:

GE : Grupo experimental

GC : Grupo de control

A : Aleatorio

X : Variable independiente

O_i : Observación

Este diseño se aplicará a cada uno de los cuatro problemas FLP que se indican más adelante en 4.2.

4.2 Unidad de análisis

La unidad de muestreo/análisis puede ser individuos, organizaciones, periodos, comunidades, situaciones, piezas producidas, eventos, etc. (Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

En la investigación a desarrollar se plantea un nuevo AG de operadores de cruce y mutación para la optimización de la distribución en planta en organizaciones de manufactura, tiene como unidad de análisis el manejo de las variables independientes: tiempo de procesamiento, espacio en memoria mediante una nueva manipulación de los operadores genéticos a las situaciones o soluciones obtenidas de la literatura en el tema de layout en plantas. Esta es una oportunidad de realizar benchmarking sobre soluciones estandarizadas comparadas con la solución que consigue el presente trabajo de investigación.

Para validar el algoritmo genético propuesto se tomará como conjunto de prueba 4 formulaciones FLPs conocidos y reportados en la literatura (Armour, & Buffa, 1963), (Bazaraa, 1975) y (van-Camp, D.J., Carter, & Vannelli, 1991). Estos problemas son tradicionalmente estudiados en investigaciones del FLP y brindan una robusta oportunidad de comparación a los investigadores.

Tal como se menciona en el párrafo anterior, los cuatro problemas son utilizados con fines de comparación frente a algoritmos que resuelvan problemas FLP. Cada problema posee un número predefinido de departamentos, dimensiones rectangulares de cada facilidad, el área de cada departamento, y la matriz del flujo valorizado entre los departamentos. Las tablas 4.1 – 4.4 muestran la matriz de flujos de cada problema. Donde se asume que cada departamento no tiene flujo consigo mismo, los elementos de la diagonal de la matriz de flujos son iguales a cero. La tabla 4.5 muestra el número de departamentos, la altura y el ancho para el layout de cada uno de los cuatro problemas. La tabla 4.6 detalla las áreas y los requerimientos de lado mínimos de las longitudes de cada departamento para los cuatro problemas (Shebanie,, 2004).

Tabla 4.1 Armour y Buffa: Matriz de Flujos

Armour and Buffa																				
Dept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	1.8	1.2	0	0	0	0	0	0	1.04	1.12	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0
2		-	0.96	24.45	0.78	0	13.95	0	1.2	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	6.9	0
3			-	0	0	0.21	0	0	3.15	3.9	0	0	0	13.05	0	0	0	0	13.65	0
4				-	1.08	5.7	7.5	0	2.34	0	0	1.4	0	0	0	0	0	1.5	15.75	0
5					-	0	2.25	1.35	0	1.56	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0
6						-	6.15	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	1.05	0	0
7							-	24	0	1.87	0	0	0	0.96	0	0	0	1.65	0	3.75
8								-	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	7.5	33.45
9									-	0	0	0	0	7.5	0	0	7.5	0	0	0
10										-	0.36	12	0	18.6	1.92	0	0	0	5.25	0
11											-	2.25	0	3	0.96	22.5	0	0	0	0
12												-	0	0	1.65	0	15	0	8.4	0
13													-	8	1.04	6	0	0	0	0
14														-	9.75	0	0	0.9	0	0
15															-	0	5.25	0	0	0
16																-	12	0	0	0
17																	-	0	7.5	0

18		-	4.65	0
19			-	0
20				-

Fuente: (Shebanie,, 2004)

Tabla 4.2 Bazarraa12: Matriz de Flujos

Bazarraa12																
Dept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-	288	180	54	72	180	27	72	36	0	0	9	0	0	0	0
2		-	240	54	72	24	48	160	16	64	8	16	0	0	0	0
3			-	120	80	0	60	120	60	0	0	30	0	0	0	0
4				-	72	18	18	48	24	48	12	0	0	0	0	0
5					-	12	12	64	16	16	4	8	0	0	0	0
6						-	18	24	6	12	3	3	0	0	0	0
7							-	0	6	6	3	6	0	0	0	0
8								-	16	16	16	4	0	0	0	0
9									-	4	4	2	0	0	0	0
10										-	2	2	0	0	0	0
11											-	2	0	0	0	0
12												-	0	0	0	0
13													-	0	0	0
14														-	0	0
15															-	0
16																-

Fuente: (Shebanie,, 2004)

Tabla 4.3 Bazarraa14: Matriz de Flujos

Bazarraa14														
Dept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	72	162	90	108	27	0	0	18	27	18	0	0	0
2		-	72	80	0	48	0	48	32	0	16	8	0	0
3			-	45	54	27	27	27	0	27	0	9	18	0
4				-	30	0	30	30	20	0	20	10	10	0
5					-	18	0	18	12	18	24	0	0	0
6						-	9	9	0	0	6	6	6	0
7							-	9	12	9	6	3	0	0
8								-	6	9	0	3	0	0
9									-	6	4	6	2	0
10										-	6	3	6	0
11											-	2	0	0
12												-	4	0
13													-	0
14														-

Fuente: (Shebanie,, 2004)

Tabla 4.4 van Camp: Matriz de Flujos

van Camp										
Dept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0	0	0	0	218	0	0	0	0
2		-	0	0	0	148	0	0	296	0
3			-	28	70	0	0	0	0	0
4				-	0	28	70	140	0	0
5					-	0	0	210	0	0
6						-	0	0	0	0
7							-	0	0	28
8								-	0	888
9									-	59.2
10										-

Fuente: (Shebanie,, 2004)

Tabla 4.5 Parámetros Layout I

Problem	# of Departments	Height of Layout	Width of Layout
Armour and Buffa	20	2	3
Bazaraa12	16	6	10
Bazaraa14	14	7	9
Van Camp	10	25	51

Fuente: (Shebanie,, 2004)

Tabla 4.6 Parámetros Layout II

Dept	Armour and Buffa		Bazaraa12		Bazaraa14		van Camp	
	Area	Min Side	Area	Min Side	Area	Min Side	Area	Min Side
1	0.27	0.15	9	1	9	1	238	5
2	0.18	0.15	8	1	8	1	112	5
3	0.27	0.15	10	1	9	1	160	5
4	0.18	0.15	6	1	10	1	80	5
5	0.18	0.15	4	1	6	1	120	5
6	0.18	0.15	3	1	3	1	80	5
7	0.09	0.15	3	1	3	1	60	5
8	0.09	0.15	4	1	3	1	85	5
9	0.09	0.15	2	1	2	1	221	5
10	0.24	0.15	2	1	3	1	110	5
11	0.6	0.25	2	1	2	1		
12	0.42	0.2	2	1	1	1		
13	0.18	0.15	2	1	1	1		
14	0.24	0.15	1	1	3	0		
15	0.27	0.15	1	0				
16	0.75	0.3	1	0				
17	0.64	0.25						
18	0.41	0.2						
19	0.27	0.15						
20	0.45	0.2						

Fuente: (Shebanie,, 2004)

4.3 Población de estudio

“Dado el carácter no determinista de las técnicas meta heurísticas, es un procedimiento habitual en la bibliografía que cada experimento sea realizado varias veces, obteniendo conclusiones sobre los resultados medios obtenidos,

evitando de esta manera que dichas conclusiones obedezcan a resultados circunstanciales especialmente buenos, o substancialmente peores de lo habitual. Esto aumenta la fiabilidad de los resultados a costa de aumentar el tiempo global de cómputo necesario.” (Diego-Más, 2006).

En el caso de la presente investigación, se procederá de manera semejante a lo planteado por (Diego-Más, 2006), estableciendo:

- **Parametrización del algoritmo propuesto.** - Un primer conjunto de experimentos dirigidos a establecer los valores de los parámetros más adecuados que consigan optimizar los resultados del nuevo algoritmo propuesto.
- **Funcionalidades del algoritmo propuesto.** - Un segundo conjunto de experimentos que permitan determinar las funcionalidades del algoritmo propuesto en cuanto a los tiempos de ejecución del mismo.
- **Prueba del algoritmo propuesto.** - Una vez obtenidos los dos puntos anteriores, se toma como conjunto de prueba las 4 formulaciones FLPs conocidos y reportados en la literatura (Armour, & Buffa, 1963), (Bazaraa,, 1975) y (van-Camp,D.J., Carter, & Vannelli, 1991).

4.4 Tamaño de la muestra

Para los problemas planteados se propone resolverlos diez veces teniendo cuidado de mantener siempre las mismas condiciones de ejecución y de número y tipo de parámetros. En todos los casos se espera obtener resultados cuyos valores pueden

ser medios, máximos y mínimos de los diez experimentos en aquellas variables que se ha planteado medir para la presente investigación.

Se prevé que, dada la complejidad de la experimentación planteada y el gran volumen de cálculo que esto supone; será necesario el empleo de una red de computadoras (10 a 12) que trabajen en paralelo con el algoritmo propuesto.

4.5 Selección de la muestra

El rendimiento de los algoritmos genéticos está en función de los parámetros establecidos para él, midiendo el rendimiento en la optimización de 14 funciones referencia (benchmark), variando el tamaño de la población, el modo de realizar el reemplazo, la probabilidad de cruce y mutación, el tipo de selección, etc. (Digalakis, J.F. & Margaritis, 2002).

“En la revisión del estado del arte de los algoritmos genéticos existen dos enfoques respecto a la selección de parámetros básicos comunes del algoritmo (probabilidad de cruce, de mutación, y de tamaño de la población), expresados mediante dos conjuntos de parámetros, que proporcionan de manera general, buenos resultados. El primero, propuesto por D. Jong y Spears (De-Jong, K. & Spears, 1990) emplea tamaños de población grandes (del orden de 100 individuos) y probabilidades bajas de cruzamiento y mutación ($P_c = 0,6$, $P_m = 0,001$). El segundo es sugerido en (Grenfestette, J., 1986) quien propone tamaños de población menores (del orden de 30 individuos), con mayor actividad de los

operadores genéticos ($P_c = 0,9$, $P_m = 0,01$). El primer enfoque disminuye la actividad de los operadores manteniendo la diversidad gracias a una gran población. El segundo actúa a la inversa, una población pequeña que evita la convergencia prematura por la actuación intensiva de los operadores genéticos. Ambas orientaciones proporcionan un papel preponderante a la actividad del operador cruce frente a la mutación” (Diego-Más, 2006).

En la presente estudio se optará por la segunda posibilidad que plantea una menor población, pero una gran actividad de los operadores genéticos de cruce y mutación del algoritmo ALGOCYM propuesto.

4.6 Técnicas de recolección de datos

Tal como se expuso en el inciso 4.3, primero se establecerán los parámetros adecuados al nuevo algoritmo genético ALGOCYM tal que contribuyan a una solución del problema del FLP.

Conforme a lo indicado en el inciso 4.3, el siguiente paso es establecer la funcionalidad del algoritmo ALGOCYM, a fin de establecer los tiempos de ejecución del algoritmo y el espacio en memoria requerido por el algoritmo.

Finalmente, puesta a prueba la ejecución del algoritmo ALGOCYM con las 4 formulaciones FLP establecidas, realizados 10 ejecuciones de cada experimento para

cada uno de los problemas se procederá a elaborar las respectivas tablas de resultados experimentales.

4.7 Análisis e interpretación de la información

En el presente estudio el análisis e interpretación de datos se establecerá a partir de los resultados de los experimentos obtenidos. Como se menciona en 4.4 y en 4.6 se realizarán 10 ejecuciones para cada experimento y se tomará la mejor distribución, adicionalmente se debe considerar la generación en la que, en promedio se localice la distribución teniendo en cuenta los resultados medios, máximos y mínimos tales que encuentren las soluciones óptimas en cada caso, de acuerdo a las actividades factibles, el costo asociado al flujo de materiales entre actividades, el tiempo de ejecución y el espacio en memoria requerido por algoritmo propuesto, tal que optimicen la distribución en planta en organizaciones de manufactura según lo propuesto en la matriz de consistencia.

5. Exposición estructurada (capítulos, títulos, subtítulos, tablas, gráficos según corresponda) de los resultados de la investigación

La exposición de resultados se hará de acuerdo a la modalidad de presentación que caracteriza a las áreas de Ciencias Básicas, Ciencias de la Salud e Ingenierías (A, B y C) y las Económico Empresariales y Humanidades (D y E).

6. Interpretación de datos

Se debe contrastar, comparar y discutir los resultados obtenidos con los esperados y con otras investigaciones reportadas.

Esta tarea aún en proceso

7. Conclusiones

Deben ser la síntesis de la investigación y guardar coherencia con los objetivos y las hipótesis, no deber ser explicativas, sino precisas y concretas.

8. Recomendaciones

Son las propuestas de implementación específica del estudio en el contexto histórico social.

Aun no se tienen recomendaciones del estudio.

9. Referencias bibliográficas

Señala las referencias bibliográficas citadas. Use las normas editoriales estándar de su área de investigación. Estas deben ser específicas al tema o investigación desarrollada y tener como mínimo 10 referencias de los últimos 10 años.

- Armour, G., & Buffa, E. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management Science*(9), 294-309.
- Bazaraa. M. (1975). Computerized Layout Design: A Branch and Bound Approach. *AIIEEE Transactions*, 7(4), 432-437.
- Cameron. D. (1952). Travel charts. *Moder material handling magazine*, 37-40.
- De Jong, A., & Spears, W. (1990). *An Analysis of the Interacting Roles of Population Size and Crossover in Genetic Algorithms*. Springer-Verlag.
- Diego-Más, J. (2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportaciones al control geométrico de las actividades*. Valencia, España: Tesis Doctoral: Universidad Politécnica de Valencia.
- Digalakis, J.F., & Margaritis, K. (2002). An Experimental Study of Benchmarking Functions of Genetic Algorithms. *International Journal Computer Mathematics*, 79(4), 403-416. doi:10.1080=00207160290017942
- Francis, R., & White, J. (1974). *Facility layout and location, an analytical approach*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Glover, F., & Melián, B. (2003). Tabu search. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*(19), 29-48.
- Grenfestette, J. (1986). Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 16(1), 122-128.
- Hernández Sampieri, Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw Hill.
- Immer, R. (1953). *Materials Handling*. New York: McGraw-Hill.
- Islier, A.A. (1998). A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design. *International Journal of Production Research*(36), 1549-1569.

- Lawler, E.L. (1963). The quadratic assignment problem. *Management Science*(9), 586-599.
- Matson, J., Mellichamp, J., & Swaminathan, S. (1992). EXCITE: Expert consultant for in-plant transportation equipment. *International Journal of Production Research*(8), 1969-1983.
- Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial (Método SLP)*. Barcelona: técnicos Asociados S.A.
- Meller, R., & Gau, K. (1996). Facility layout objective functions and robust layouts. *International Journal of Productions Research*(34), 2727-2742.
- Mavridou, T., & Pardalos, P. (1997). Simulated Annealing and Genetic Algorithms for Facility Layout Problem: A survey. *Computational Optimization and Applications*(7), 111-126.
- Malakooti, B. (1989). Multiple objective facility layout: a heuristic to generate efficient alternatives. *International Journal of production Research*(27), 1225-1238.
- Muther, R., & McPherson, K. (1979). *Systematic planning of industrial facilities - S.P.I.F.* Kansas City: Management and industrial research publications.
- Shebanie, R. (2004). *An integrated, evolutionary approach to facility layout and detailed design*. Pittsburgh: University of Pittsburgh. Recuperado el 2016
- Shayan, E., & Chittilappilly, A. (2004). Genetic Algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure. *International Journal of Production Research*(42), 4055-4067.
- Sule, D.R. (1994). *Manufacturing facilities: Location planning and design*. Boston: PWS Publishing.
- Sule, D.R. (2000). *Instalaciones de manufactura*. Boston: Thomsom Learning.
- Tate, D., & Smith, A. (1995). Unequal-area facility layout by genetic search. *AIEEE Transactions*(27), 465-472.

Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., & Tanchoco, J. (2003). *Facilities planning*. New York: Wiley & Sons.

Tompkins, J.A., & White, J. (1984). *Facilities Planning*. New York: John Wiley And Sons.

Tong, X. (1991). *SECOT: A Sequential Construction Technique for Facility Design. Unpublished Doctoral Dissertation*. University of Pittsburgh, Department of Industrial Engineering.

van Camp, D.J., Carter, M., & Vannelli, A. (1991). A Nolinear Optimization Approach for Solving Facility Layout Problems. *European Journal of Operational Research*, 57, 174-189.

10. Anexos

Cuando proceda: encuestas, tablas, etc.

1. Hipótesis general

Empleando el Algoritmo Genético (ALGOCYM) se optimizará La distribución en planta en las organizaciones de manufactura.

1.1 Hipótesis específicas

- a) Los métodos de resolución por algoritmos genéticos contribuyen a optimizar la distribución en planta en diferente grado.
- b) La elaboración de un nuevo algoritmo genético permite alcanzar una solución óptima al problema de distribución en planta.
- c) Los experimentos numéricos, permiten contrastar los resultados del algoritmo genético ALGOCYM con los resultados de otros algoritmos.
- d) El diseño e implementación de la aplicación informática permite probar la bondad del algoritmo genético ALGOCYM.

2. Identificación de variables

Para el desarrollo de la tesis propuesta se ha identificado las siguientes variables:

2.1 Variables Dependientes

VD1: Optimización de la distribución en planta.

VD2: Solución óptima al problema de la distribución en planta.

VD3: Resultados del algoritmo genético ALGOCYM.

VD4: Bondad del algoritmo genético ALGOCYM.

2.2 Variables Independientes

VI1: Métodos de resolución del problema de distribución en planta.

VI2: Nuevo algoritmo genético ALGOCYM.

VI3: Experimentos numéricos para el algoritmo genético ALGOCYM.

VI4: Implementación de la aplicación informática del algoritmo ALGOCYM.

Cuadro 1: Identificación de variables

HIPOTESIS GENERAL	Empleando el Algoritmo Genético (ALGOCYM) se optimizará La distribución en planta en las organizaciones de manufactura.	
HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
a) Los métodos de resolución por algoritmos genéticos contribuyen a optimizar la distribución en planta en diferente grado.	VI1: Métodos de resolución del problema del FLP por algoritmos genéticos.	VD1: Optimización de la distribución en planta.
b) La elaboración de un nuevo algoritmo genético permite alcanzar una solución óptima al problema de distribución en planta.	VI2: Nuevo algoritmo genético ALGOCYM.	VD2: Solución óptima al problema de la distribución en planta.
c) Los experimentos numéricos, permiten contrastar los resultados del algoritmo genético ALGOCYM con los resultados de otros algoritmos.	VI3: Experimentos numéricos para el algoritmo genético ALGOCYM.	VD3: Resultados del algoritmo genético ALGOCYM.
d) El diseño e implementación de la aplicación informática permite probar la bondad del algoritmo genético ALGOCYM.	VI4: Implementación de la aplicación informática del algoritmo ALGOCYM.	VD4: Bondad del algoritmo genético ALGOCYM.

3. Operacionalización de variables:

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VD 1: Optimización de la distribución en planta.	Dependiente	"La distribución de planta pertenece al grupo de problemas de optimización, consistente en la participación de una región plana de dimensiones conocidas (generalmente rectangular) en departamentos de área conocida, de tal manera que se minimice el costo asociado con las instalaciones previstas entre dichos departamentos" (Tate, & Smith, 1995).	La optimización de la distribución en planta consiste en obtener la mejor distribución física de un número dado de departamentos o máquinas con una configuración determinada tal que se minimicen los costos asociados.	Largo, ancho de un departamento. Costo del flujo entre departamentos.	Espacio de cada departamento. Numero de departamentos. Costo asociado al flujo entre cada departamento.
VD 2: Solución óptima al problema de la distribución en planta.	Dependiente	Solución factible que tiene el valor más favorable a la función objetivo.	Solución aceptable que tiene el valor más cercano a la función objetivo.	Multidimensional	Grado de cumplimiento con las restricciones del problema.
VD 3: Resultados del algoritmo genético ALGOCYM.	Dependiente	Distribución resultante de la aplicación del algoritmo genético.	Distribución resultante de la aplicación del algoritmo genético.	Multidimensional	Distribuciones medias, máximos y mínimos del algoritmo ALGOCYM.
VD 4: Bondad del algoritmo genético ALGOCYM.	Dependiente	Capacidad del algoritmo genético para obtener buenas soluciones al problema.	Capacidad del algoritmo genético para obtener buenas soluciones al problema.	Multidimensional	Grado de cumplimiento del algoritmo ALGOCYM.
VI1: Métodos de resolución del problema de distribución en planta por Algoritmos Genéticos.	Independiente	Los Algoritmos Genéticos, son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, donde los métodos tradicionales, no son efectivos (Glover, & Melián, Inteligencia Artificial, 2003).	Los algoritmos genéticos son métodos aproximados que permiten resolver problemas difíciles de optimización combinatoria como es el problema de la distribución en planta.	Multidimensional	Grado de aplicación de los operadores de cruce y mutación.
VI2: Nuevo algoritmo genético ALGOCYM.	Independiente	Algoritmo de operadores de cruce y mutación para optimizar la distribución en planta.	Algoritmo de operadores de cruce y mutación para optimizar la distribución en planta.	Multidimensional	Grado de aplicación de los operadores de cruce y mutación.
VI3: Experimentos numéricos para el algoritmo genético ALGOCYM.	Independiente	Para validar el algoritmo genético propuesto se tomará como conjunto de prueba 4 formulaciones FLPs conocidos y reportados en la literatura (Armour, & Buffa, A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities, 1963), (Bazaraa, 1975) y (van-Camp, D.J., Carter, & Vannelli, 1991).	Del conjunto de prueba que son 4 formulaciones del FLP, se realizarán 10 experimentos para cada uno.	Multidimensional	Tiempo de ejecución. Costo del tiempo. Espacio en memoria. Costo de memoria.
VI4: Implementación de la aplicación informática del algoritmo ALGOCYM.	Independiente	El algoritmo genético ALGOCYM se implementa mediante el software MATLAB® bajo el entorno operativo Windows.	El algoritmo genético ALGOCYM se implementa mediante el software MATLAB® bajo el entorno operativo Windows.	Hardware Software	Grado de uso hardware. Grado de uso de software.

4 Matriz de consistencia: Algoritmos Genéticos en el Problema de Distribución de Planta

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	Variables dependientes e Independientes	
¿Cuál será la solución óptima que permita una mejor distribución en planta en organizaciones de manufactura?	Desarrollar el Algoritmo Genético ALGOCYM para optimizar la Distribución en Planta en organizaciones de manufactura.	Empleando el Algoritmo Genético (ALGOCYM) se optimizará La distribución en planta en las organizaciones de manufactura.		
PROBLEMAS SECUNDARIOS	OBJETIVOS SECUNDARIOS	HIPOTESIS SECUNDARIAS		
a) ¿Cuáles son los métodos que permiten optimizar el problema de distribución en planta?	a) Analizar del estado del arte de los métodos de resolución por algoritmos genéticos aplicados al problema de distribución en planta.	a) Los métodos de resolución del problema por algoritmos genéticos contribuyen a optimizar la distribución en planta en diferente grado.	VD 1: Optimización de la distribución en planta. VI 1: Métodos de resolución del problema de distribución en planta por Algoritmos Genéticos.	Espacio de cada departamento. Numero de departamentos. Costo asociado al flujo entre cada departamento. Grado de aplicación de los operadores de cruce y mutación.
b) ¿Cómo es el algoritmo genético ALGOCYM aplicado a la solución del problema de distribución en planta?	b) Elaborar un nuevo algoritmo genético tal que genere una solución óptima al problema de la distribución en planta.	b) La elaboración de un nuevo algoritmo genético permite alcanzar una solución óptima al problema de distribución en planta.	VD 2: Solución óptima al problema de la distribución en planta. VI 2: Nuevo algoritmo genético ALGOCYM.	Grado de cumplimiento con las restricciones del problema. Grado de aplicación de los operadores de cruce y mutación.
c) ¿Cómo se plantea la simulación de experimentos numéricos en el algoritmo genético ALGOCYM para contrastar sus resultados frente a otros algoritmos?	c) Plantear experimentos numéricos, para contrastar los resultados del algoritmo genético ALGOCYM con otros algoritmos.	c) Los experimentos numéricos, permiten contrastar los resultados del algoritmo genético ALGOCYM con los resultados de otros algoritmos.	VD 3: Resultados del algoritmo genético ALGOCYM. VI 3: Experimentos numéricos para el algoritmo genético ALGOCYM.	Distribuciones medias, máximos y mínimos del algoritmo ALGOCYM. Tiempo de ejecución. Costo del tiempo. Espacio en memoria. Costo de memoria.
d) ¿Cuál es el diseño de la aplicación informática que implemente y pruebe la bondad del algoritmo genético ALGOCYM?	d) Diseñar e implementar la aplicación informática que pruebe la bondad del algoritmo genético propuesto.	d) El diseño e implementación de la aplicación informática permite probar la bondad del algoritmo genético ALGOCYM.	VD 4: Bondad del algoritmo genético ALGOCYM. VI 4: Implementación de la aplicación informática del algoritmo ALGOCYM.	Grado de cumplimiento del algoritmo ALGOCYM. Grado de uso hardware. Grado de uso de software.

