

Técnicas evolutivas para la localización de facilidades en una empresa productora de envases de aluminio

Ruth A. Yllada Garcia⁽¹⁾, Ninoska Maneiro Malave⁽¹⁾, Lidia Cira⁽²⁾

⁽¹⁾Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela,
Email: ryllada@uc.edu.ve, nmaneiro@uc.edu.ve

⁽²⁾Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Industrial, Cuba

Resumen

La localización de facilidades, puede visualizarse como un problema cuadrático de asignación que requiere explorar un inmenso campo de alternativas, siendo improbable la verificación completa sin ayuda de una herramienta que acelere el proceso de diseño, evaluación y selección. En este sentido, los algoritmos evolutivos, se convierten en una herramienta eficaz para que los analistas de sistemas industriales busquen la mejora continua de los procesos. En la presente investigación, se evalúa la capacidad que éstos tienen para localizar las facilidades de una empresa productora de envases de aluminio, comparando a su vez, la solución obtenida, con las diseñadas por otros analistas, quienes usaron métodos cualitativos para generar una propuesta. Entre los principales resultados, se puede establecer que, se encontró una distribución de facilidades que permite a la empresa disminuir los recorridos en 33.7%, si se compara con la planteada previamente, demostrando así la gran utilidad de la herramienta.

Palabras Clave: Localización de facilidades, algoritmo evolutivo, QAP.

Evolutionary techniques for facility layout in an aluminum containers production factory

Abstract

The localization of facilities is a well-known and difficult problem of combinatorial optimization, especially when the size of the problem grows, making not probable an evaluation of all the solutions. In the present investigation evolutionary algorithms are applied to locate the facilities on a aluminum containers production factory, comparing, at the same time, the obtained solution, with those designed by others analyst, who used qualitative methods. Among the principal results, it was found a distribution of facilities that allows the factory to diminish the walks on 33.7%, when compared to the previous given solution, making it possible to demonstrate that the evolutionary algorithms are an efficient tool to use in the searching and selection of good solutions. It aids industrial systems analysts in the continual improvement of all processing, being useful and effective to solve this kind of problems.

Keywords: Facility layout, evolutionary algorithms, QAP.

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas cuadráticos de asignación de facilidades en el ámbito industrial son muy comunes, debido a las constantes modificaciones que sufren las tecnologías de fabricación y los innumerables cambios en los productos y diseños, los cuales obligan al pro-

ductor a reorganizar sus plantas con el objetivo de disminuir sus costos de operación, aumentando así su productividad y por ende su competitividad [1]; de lo contrario se verán inmersos dentro de un sistema de producción lleno de desperdicios y grandes costos de manejo de materiales.

Esta investigación tiene por objeto encontrar la solución a un problema cuadrático de asignación de facilidades, que se presenta en una empresa productora de envases de aluminio, usando para ello a los algoritmos evolutivos y más específicamente utilizando al AGQAP, diseñado por Maneiro [2]. Esta investigación no sólo pretende encontrar la respuesta adecuada a un problema industrial, sino que además se aspira comprobar la gran utilidad del referido algoritmo.

Es importante recordar, que este tipo de problemas de localización de facilidades tiene un espacio de soluciones que crece exponencialmente a medida que se incrementa el número de departamentos y/o equipos que se requieran ubicar, así es imposible para cualquier analista que, sin el uso de las modernas tecnologías de la información, se puedan encontrar y evaluar, rápida y satisfactoriamente todas ellas. En este sentido, se puede agregar que con el desarrollo de la metodología, planteada en este proyecto, se puede enseñar el uso de la herramienta (AGQAP) en la asignatura Localización y Distribución en Planta, materia electiva la cual se dicta en la Escuela de Ingeniería Industrial; aspecto de especial relevancia, cuando cada vez más, se hace necesario el dominio de las nuevas tecnologías de la información al servicio del ingeniero y de las empresas.

2. OBJETIVO GENERAL

Solucionar un problema cuadrático real de asignación de facilidades usando algoritmos evolutivos, aplicando el programa AGQAP.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar una metodología que indique cómo usar el programa AGQAP.
2. Aplicar el programa AGQAP, en el proceso industrial seleccionado.
3. Interpretar las soluciones obtenidas con el programa.
4. Analizar la calidad de las soluciones obtenidas.

4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Francis y White [3], se entiende por *facilidad*, cualquier recurso físico necesario para que un individuo, ente u organización satisfaga una necesidad y el problema básico es la asignación de dichos

recursos en determinados lugares, de manera de garantizar el mínimo costo. La localización y distribución de facilidades es un elemento importante en la formación de profesionales en el área de ingeniería, ya que frecuentemente será necesario ejecutar proyectos de esta índole.

Los problemas de localización de facilidades pertenecen a la clase conocida como QAP (**Quadratic Assignment Problem**), ésta se emplea cuando se desea encontrar la asignación óptima de N facilidades en N lugares, con la finalidad de disminuir los costos de manejo de materiales.

Un Problema Cuadrático de Asignación de Facilidades puede ser formulado como se muestra a continuación:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si la máquina } i \text{ es asignada al sitio } k, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

Y sea d_{ikjh} , la distancia entre las facilidades i y j localizadas en los sitios k y h , respectivamente; el modelo con el que el AGQAP trabaja es:

$$\begin{aligned} \min f(x) &= \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^n d_{ikjh} x_{ik} x_{jh} \quad \text{sujeto a} \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} &= 1, \quad k = 1, \dots, n \\ \sum_{k=1}^n x_{ik} &= 1, \quad i = 1, \dots, n \quad x_{ik} = 0, 1 \text{ para todo } i, k \end{aligned} \quad (2)$$

Los QAP cubren una amplia clase de problemas, con diversas formas de presentarse en las industrias y/o en las empresas de servicio. Uno de ellos se presenta cuando los departamentos a ubicar requieren áreas iguales, sin embargo cuando las facilidades necesitan áreas diferentes algunos autores, como Kochhar [4] los denominan non-QAP, y la dificultad en su tratamiento es mayor, ya que cualquier algoritmo que lo resuelva debería generar la mejor localización, que requiera los mínimos ajustes manuales.

En los QAP, cuyas facilidades ocupan espacios iguales, el problema se limita a asignar un cuadrado de área disponible al departamento que lo requiera. Muchos ingenieros, simplifican los problemas del tipo Non-QAP, asignando áreas iguales a los

diferentes departamentos, realizando luego los ajustes necesarios para adaptar la solución a los requerimientos reales. Éste es el caso descrito a continuación.

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y SU PROBLEMÁTICA

La empresa investigada produce envases de aluminio, conformadas por bandejas y tapas, los cuales tienen como propósito principal el contener y resguardar las comidas de agentes externos contaminantes.

En la siguiente figura se muestra una vista en planta del área disponible.

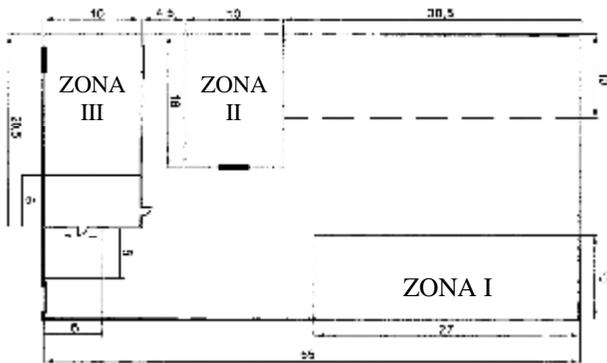


Figura 1. Área disponible.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad de área disponible en metros cuadrados en cada zona.

Tabla 1. Área disponible.

ZONA	DESCRIPCIÓN	AREA (m ²)
I	Galpón de Hornos	270
II	Galpón Cerrado	160
III	Área de Depósito	145

5.1 Descripción del Proceso

El proceso de producción se representa a continuación usando un Diagrama de Bloque.

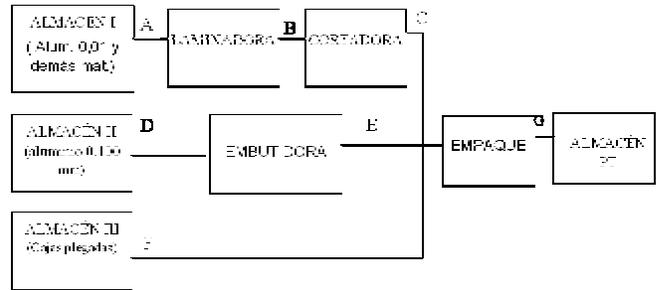


Figura 2. Diagrama de bloque del proceso de elaboración de envases de aluminio.

5.2 Flujo de Materiales

En un estudio de distribución en planta con métodos cuantitativos, es imprescindible conocer el flujo de materiales.

Tabla 2. Flujo diario entre departamentos.

DESDE/HASTA	FLUJO	CANTIDAD (Viajes/día)
Almacén I / Laminadora	A	2,45
Laminadora / Cortadora	B	3.58
Cortadora / Empaque	C	4
Almacén II / Embutidora	D	0,96
Embutidora / Empaque	E	4
Almacén III / Empaque	F	1.7
Empaque / Almacén P T	G	8
ACD / Almacén I	H	2,45
ACD / Almacén II	I	0.96
ACD / Almacén III	J	1.7
Almacén P T / ACD	K	8

6. ANÁLISIS PRELIMINAR

Como ya se ha mencionado, encontrar la distribución adecuada de los equipos y almacenes de este proceso, fue el objetivo de una investigación previa realizada por Castañeda y Martínez [5], para ello, plantearon una serie de simplificaciones que son necesarias discutir antes de iniciar el proceso de solución usando el AGQP.

En [5] inicialmente se expone el análisis de forma tal que se trabaja con 4 departamentos, los cuales son:

- Departamento de Proceso (Laminadora, Cortadora y Embutidora).
- Departamento de Empaque.
- Almacén de Materia Prima (Aluminios, cartón y goma).
- Almacén de Producto Terminado (Producto terminado y cajas plegadas).

Luego se usa, la tabla de preferencia para evaluar las dos alternativas generadas y seleccionar la mejor, viéndose ahora obligados a adaptarla a la realidad haciendo el ajuste para el espacio disponible.

Aunque es cierto que la simplificación de variables es típica en los procesos de solución de los problemas de ingeniería, también es cierto que esa simplificación aleja la respuesta de la óptima, pero la falta de herramientas que faciliten el proceso genera que la aceptación de soluciones únicamente satisfactorias.

Ahora bien, para usar el AGQAP se puede considerar algunos aspectos que fueron simplificados anteriormente, y que gracias al uso de la herramienta no se requieren.

Existen ocho departamentos a ubicar por lo que las alternativas posibles se elevan a 8! (8 factorial), es decir 40.320; además de incorporar en el análisis el punto de entrada y salida de material. Los requerimientos de área se detallan en la Tabla 3.

Como puede observarse, cada área, equipo o departamento tiene requerimientos diferentes de espacio y el área disponible no es uniforme, ya que se encuentra seccionada en tres zonas. De esta forma queda completamente descrito el problema, el cual pertenece a la subclasificación non-QAP y que será resuelto combinando algoritmos evolutivos y tratamiento del tipo QAP, como herramienta, para la exploración del espacio de soluciones posibles con mayor rapidez y efectividad.

Tabla 3. Dimensiones de los departamentos de proceso.

DPTO	OPER.	Área (m ²)
I	Almacén I	92,48
II	Almacén II	84
III	Almacén III	66
IV	Laminadora	67,5
V	Cortadora	32
VI	Embutidora	36
VII	Empaque	138
VIII	Almacén Producto Terminado	40

7. METODOLOGÍA Y USO DEL PROGRAMA

El AGQAP, facilita el proceso de solución a los problemas cuadráticos de localización de facilidades, para usarlo se requiere cumplir con una serie de pasos, los cuales se enumeran a continuación:

7.1 Búsqueda de información

Es necesario conocer el producto, los materiales, los equipos, el área requerida por cada elemento del sistema, el proceso y el flujo o cantidad de material que viaja entre cada departamento y/o facilidad. Además también es necesario conocer el área disponible para ubicar la planta. En el caso analizado, el área disponible es muy irregular, lo que complica aún más la localización de las facilidades.

7.2 Construcción de las matrices

El programa necesita la introducción de los datos concernientes a cinco matrices:

- ◆ La primera de ellas es la matriz entrada, en la cual se especifican:
 - La probabilidad de cruce
 - La probabilidad de mutación
 - El número de generaciones y
 - El número de individuos por cada generación

En esta matriz, basándonos en investigaciones realizadas por Maneiro [6], se establece que los siguientes valores de cruce y mutación son los convenientes para este tipo de estudio:

- Probabilidad de cruce = 0.85
- Probabilidad de mutación = 0.25

En cuanto al número de individuos y de generaciones, estos dependen de la capacidad de memoria con que se cuente en el equipo de computación utilizado. Las características del ordenador usados son: Pentium IV 700Mhz, 256 MB de memoria RAM.

Se experimentaron varias alternativas, seleccionados para las pruebas iniciales un número de individuos igual a 300 y un número de generaciones de 15000, en vista del tamaño del problema. Sin embargo, como se verá más adelante, se realizó un entonamiento de los parámetros del algoritmo, que redujo significativamente dicho tamaño.

◆ La segunda matriz es la matriz localidad, con esta se le informa al programa AGQAP, dónde se encuentran las localizaciones. En este sentido la nomenclatura utilizada es la siguiente:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 2 \\ -1 & -1 & 3 \\ -1 & -1 & 4 \\ 5 & 6 & -1 \\ 7 & 8 & -2 \end{pmatrix}$$

Figura 3. Matriz localidad.

(-1): localidades ocupadas, en la que la asignación de otra facilidad es imposible.

(-2): localidad asignada a una facilidad previamente establecida, inamovible y que tiene relación directa con el proceso estudiado.

(1,2,3...): los números enteros positivos distintos de cero, se utilizan para indicar las posibles localidades para las diferentes facilidades a ubicar.

◆ La tercera matriz, es la de flujo en la que se establece la cantidad de viajes/día, Bs./m o cualquier otra unidad que permita medir bajo un mismo patrón, el flujo de materiales.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 2.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.7 & 0 & 1.7 \\ 2.4 & 0 & 0 & 0 & 3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.5 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.7 & 0 & 4 & 4 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 8 \\ 2.4 & 0.9 & 1.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura 4. Matriz flujo (viajes/día).

◆ La matriz requerimiento, está formada por tres columnas, en la primera se identifica numéricamente los departamentos, en la segunda se coloca el número de localidades asignadas a cada departamento, dependiendo si se le da un tratamiento QAP o non-QAP, y en la tercera se acumulará el número de localidades asignadas.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 3 & 1 & 3 \\ 4 & 1 & 4 \\ 5 & 1 & 5 \\ 6 & 1 & 6 \\ 7 & 1 & 7 \\ 8 & 1 & 8 \end{pmatrix}$$

Figura 5. Matriz requerimiento. Tratamiento QAP.

◆ La última matriz, es la de distancia, la cual bajo un enfoque QAP, existen dos formas de plantear el diseño de este problema:

- Formando 8 cuadrados exactos de 8,47 m de lado ($\sqrt{71,87}$).
- Formando áreas rectangulares de (10 x 7)m.

Si se selecciona el primer procedimiento, cuando se determine la matriz distancia se usará un paso equivalente de 8,47 m.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 6 & 5 & 7 & 6 & 5 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 5 & 4 & 6 & 5 & 4 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 4 & 3 & 5 & 4 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 3 & 2 & 4 & 3 & 2 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 0 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 7 & 6 & 5 & 4 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 3 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura 6. Matriz distancia usando localidades cuadradas (con paso).

El uso de áreas rectangulares impide en cierta forma el cálculo de distancias usando los pasos, por lo que se debe determinar la separación real entre los centros de las posibles localizaciones; combinando, si es necesario, distancias rectilíneas y/o euclidianas. Ver Figura 7.

$$\begin{pmatrix} 0 & 7 & 14 & 21 & 45 & 38 & 59 & 52 & 43 \\ 7 & 0 & 7 & 14 & 38 & 31 & 52 & 45 & 36 \\ 14 & 7 & 0 & 7 & 31 & 24 & 45 & 38 & 29 \\ 21 & 14 & 7 & 0 & 24 & 17 & 38 & 31 & 22 \\ 45 & 38 & 31 & 24 & 0 & 7 & 14 & 21 & 26 \\ 38 & 31 & 24 & 17 & 7 & 0 & 21 & 14 & 22 \\ 59 & 52 & 45 & 38 & 14 & 21 & 0 & 7 & 15 \\ 52 & 45 & 38 & 31 & 21 & 14 & 7 & 0 & 8 \\ 43 & 36 & 29 & 22 & 26 & 22 & 15 & 8 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura 7. Matriz distancia usando áreas rectangulares (sin paso).

7.3. Ejecución del programa AGQAP.

Una vez introducidas las matrices solo resta ejecutar el programa y cuando termine de realizar su operación, mostrará la distribución recomendada y el valor de la función objetivo:

Función objetivo=122,38

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 4 \\ -1 & -1 & 5 \\ 6 & 7 & -1 \\ 3 & 8 & -2 \end{pmatrix}$$

Figura 8. Ejemplo de matriz de localización final.

Es importante recomendar que se ejecute varias veces el programa, ya que la aleatoriedad con la que trabaja no garantiza la obtención de la mejor solución en la primera corrida, haciendo especial énfasis en aquellos problemas con espacios de soluciones muy amplios.

8. ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA DEL ALGORITMO

Antes de estudiar las soluciones obtenidas con el AGQAP de acuerdo con las diferentes asignaciones de áreas diseñadas, es necesario realizar un análisis de la convergencia del algoritmo puesto que esto se convierte en una señal inequívoca de la robustez de la herramienta usada para encontrar la solución óptima o en su defecto la mejor solución al problema planteado.

Un ejemplo de esa convergencia se puede observar en la siguiente figura, la cual muestra un resumen de las 3000 primeras generaciones, además se puede observar como –al final de la evolución– la variación entre la mejor respuesta (119.92) y la peor (122.38), es muy pequeña (2%, aproximadamente).

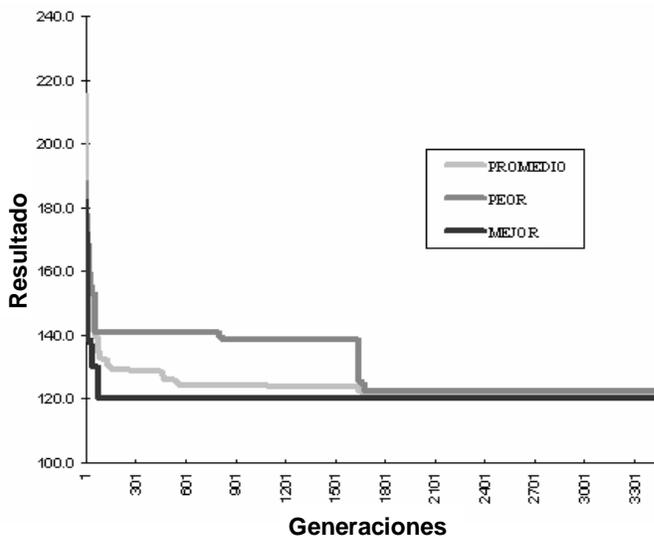


Figura 9. Convergencia del peor, promedio y mejor individuo de cada generación.

9. RESULTADOS

Luego de realizar 10 corridas, en el 70% indicaron que la mejor solución es:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 4 \\ -1 & -1 & 5 \\ -1 & -1 & 3 \\ 6 & 7 & -1 \\ 2 & 8 & -2 \end{pmatrix}$$

Figura 10. Matriz de distribución sugerida.

Como cada número entero positivo significa que el AGQAP, está asignando ese departamento al área señalada, entonces esta matriz de salida se puede transformar en algo mucho más tangible, como lo es el siguiente esquema:

Ocupado	Ocupado	Almacén I
Ocupado	Ocupado	Laminadora
Ocupado	Ocupado	Cortadora
Ocupado	Ocupado	Almacén III
Embutidora	Empaque	Ocupado
Almacén II	Almacén Prod. Ter.	A.C.D.

Figura 11. Distribución final sugerida por el AGQAP.

Ahora, es necesario verificar en el área disponible se puede implementar esta propuesta haciéndola factible.

Por lo pronto, el área ocupada por el almacén I, la laminadora, la cortadora y el almacén III es de 257,98m² y el espacio disponible en esa zona es de 10x27 = 270m²; por lo que no existe problema para ubicar de acuerdo con la propuesta.

En la zona II, el AGQAP indica que es conveniente localizar a la embutidora y a empaque, los cuales ocupan 174m², pero en ella solo existen disponibles 160m².

En la zona III, se sugiere la ubicación de almacén II y el de producto terminado, los cuales requieren un área total de 124 m². En esta zona se cuenta con 140 m² disponibles, por lo que presenta un exceso de área que facilita su instalación.

De acuerdo con lo analizado existe un inconveniente para adaptar los departamentos de empaque y embutido a la zona II. En este sentido existen varias soluciones posibles:

- Verificar si se puede reducir el espacio requerido por esos departamentos.
- Revisar la posibilidad de ampliación.

Cabe destacar, en este último aspecto, que la propuesta realizada por Castañeda y Martínez [5], incluye una ampliación de 160 m², en la zona I, para que se pudiera establecer la distribución de facilidades diseñada por ellos. Si se usa la propuesta del algoritmo, la ampliación sería menor a 20 m².

Cualquier persona en este punto, puede tener la siguiente interrogante: si el área requerida por las diferentes facilidades (575m²) es igual al área disponible (575 m²), ¿por qué se considera factible una ampliación? Pues la respuesta está en que el área disponible está seccionada, y esa separación obliga a generar adaptaciones que realmente satisfagan las necesidades de los departamentos, sobretodo si se desea garantizar el mínimo costo de manejo de materiales, haciendo siempre la salvedad de que el manejo sería mucho menor si el área disponible fuese homogénea.

El AGQAP, tiene la ventaja de suministrar soluciones cada cien generaciones, por lo que se puede buscar “aguas arriba” alguna alternativa que aunque tenga mayor costo de manejo, se adapte mejor al área disponible, pero debe alertarse que en este procedimiento cuanto más se viaje hacia arriba más se aleja de la solución óptima o de la mejor solución encontrada.

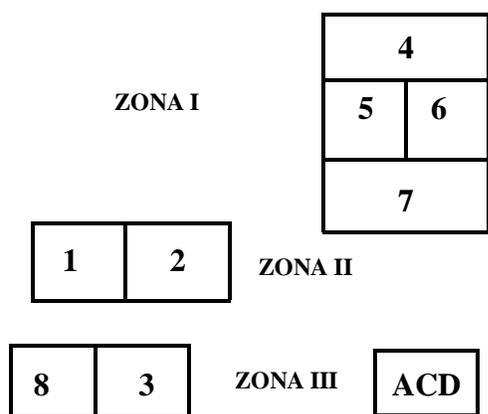
El segundo esquema de solución, plantea la utilización de áreas rectangulares de 10m x 7m, utilizando además las mismas matrices de entrada, flujo, requerimiento y localidad que en el caso anterior, ya que estas no sufren modificación alguna con el nuevo planteamiento, variando únicamente la matriz distancia.

La solución que indica el AGQAP, coincide en forma exacta con el planteamiento anterior, aspecto que es lógico ya que la simplificación o no del cálculo de la distancia no debería influir en los resultados y las propuestas del programa, generando un valor en la función objetivo de 1083 m/día.

Esta igualdad en las proposiciones genera la certeza de que cualquiera de las dos metodologías que se sigan para resolver este tipo de problemas conducirán a la misma solución, será decisión del analista ejecutar una de ellas.

10. COMPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA CON LA PROPUESTA EN [5]

La propuesta original de Castañeda y Martínez [5], fue diseñada y evaluada con la Tabla de Preferencia, la misma se produjo, tal y como se mencionó anteriormente, tras una serie de simplificaciones, generando solo dos alternativas de distribución con las cuales se dio respuesta al problema planteado. La seleccionada, se muestra a continuación:



12. Distribución propuesta por Castañeda y Martínez.

En la siguiente tabla, se realiza una comparación entre ambas soluciones.

Tabla 4. Comparación de las soluciones AGQAP vs Castañeda y Martínez.

PROPUESTA	Función Objetivo (m/día)
AGQAP	1083
TABLA DE PREFERENCIA	1634

De acuerdo con estos resultados se concluye que la respuesta ofrecida por el AGQAP es 33.7% mejor y que el espectro de localizaciones evaluadas a través de las diferentes corridas del programa es mucho mayor que las dos alternativas evaluadas originalmente por Castañeda y Martínez, quienes usaron además, un método cualitativo de localización, pese a contar con información suficiente como para utilizar uno del tipo cuantitativo.

11. CONCLUSIONES

Con el presente estudio, no solo se ha encontrado la mejor solución al problema de distribución de facilidades de una empresa productora de envases de aluminio para alimentos, más allá de este beneficio, se ha demostrado que los algoritmos genéticos son una herramienta eficaz para la solución de problemas industriales reales, y específicamente el AGQAP es un programa de aplicación general, el cual puede usarse en casos diferentes, siempre y cuando se realice las adecuadas analogías e interpretaciones, punto que cobra especial importancia cuando de acuerdo con la opinión de muchos investigadores del área, los algoritmos genéticos tienden a ser diseñados y aplicados en un solo tipo de problemas y requieren de reformulaciones importantes para solucionar otro.

Finalmente, se realizaron pruebas a los parámetros evolutivos, tamaño de la población, y probabilidades de cruce y mutación, manteniendo en 5000 el número de generaciones. Se experimentó con tamaños de población 60, 80, 100 y 300 individuos y se concluyó que el incremento del tamaño de la población y un número de generaciones a evolucionar tiene un alto costo computacional y no trae mejoras significativas en la calidad de la solución, por lo que se determinó que un tamaño de población de 60 individuos es suficiente para el tamaño de problema estudiado.

Sin embargo, la realización de múltiples ejecuciones del programa es un factor importante en la búsqueda de mejores soluciones, probablemente debido a la selección aleatoria de los individuos de la población inicial, que dan oportunidad de explorar nuevos, y posiblemente mejores, espacios de búsqueda

Otro resultado interesante se refiere a las probabilidades de Cruce y Mutación utilizadas, se probaron los siguientes pares de probabilidades de cruce-mutación: 0.85-0.25, 0.5-0.25, 0.75-0.25 y 0.5-0.5.

La convergencia se mantuvo en todos los casos, independientemente del par que se utilizara, obteniéndose casos en que el algoritmo convergió muy rápido a la solución óptima como se muestra en la Figura 13.

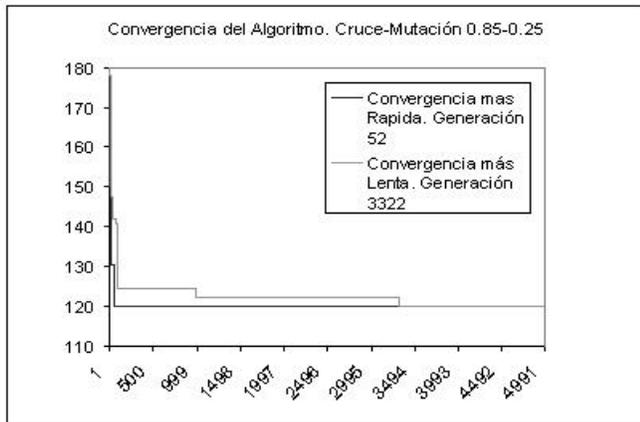


Figura 13. Comparación de la convergencia en diversas corridas del algoritmo.

Se encontró que la mejor solución para el caso de áreas cuadradas se obtuvo con 0.5-0.5; para el de áreas rectangulares con 0.75-0.25. Puede concluirse que este problema funciona mejor con probabilidades de cruce y mutación consideradas altas para otros problemas [7], probablemente debido a que estas altas tasas introducen mayores elementos de aleatoriedad y diversidad en la búsqueda.

La convergencia del algoritmo hacia la solución es muy buena en todos los casos, ya que el algoritmo realiza búsqueda de mejores valores hasta las últimas generaciones, como puede verse en el descenso de la línea, tomando el valor óptimo, alrededor de la generación 3500.

Otro aspecto que es necesario plantear es la limitación que presenta el AGQAP en el sentido que se diseñó para solucionar problemas donde “n” facilidades son ubicadas en “n” localidades, obligando de esta forma a seccionar el área disponible entre la cantidad de departamentos que existan, pero en los casos en donde el área disponible supere a la requerida, el programa muestra una debilidad, pues usa toda el área libre aunque no se necesite, esto puede generar que un analista inexperto pueda confundir los resultados llenando el espacio disponible sin necesidad.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Gómez, Ezequiel y Nuñez Franklin (2003). “Plantas Industriales. Aspectos Técnicos para su Diseño”. Publicaciones de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Séptima Edición.

- [2] Maneiro, Ninoska (2002). “Algoritmos Genéticos Aplicados a Problemas de Localización de Facilidades. Caso de Estudio: Problema de Asignación Cuadrática de Facilidades”. Trabajo de Grado presentado ante el Área de Estudios de Postgrado. Universidad de Carabobo.
- [3] Francis, Richard L. y White, John A. “Facility Layout and Location”. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1974
- [4] Kochhar, S.; Foster, B.; Heragu, S. (1998). HOPE: “A Genetic Algorithm for the unequal area facility layout problem”. Computers Ops Res. Vol. 25, No. 7/8, pp. 583-594, Elsevier Science Ltd.
- [5] Castañeda, José y Martínez Frankgher (2001). “Diseño de una Planta Productora de Envases de Aluminio Para Alimentos”. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Carabobo. Valencia.
- [6] Maneiro, Ninoska (2002). “Algoritmo Evolutivo para Problemas Unidimensionales para Localización de Máquinas. Caso de Estudio: El Problema Generalizado de Flujo en Líneas”. Trabajo de Ascenso. Universidad de Carabobo.
- [7] Gen, M. y Chen, R. (2000). “Genetic Algorithm and Engineering Optimization”. Wiley, USA.