

## **Influencia de los cambios en la tasa de Producción sobre el Manejo de Materiales en Proceso. Una aproximación Evolutiva**

**Ninoska Maneiro Malavé<sup>1</sup>, Ruth Illada García<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Gestión de la Calidad. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo. Av. Universidad, Valencia, Venezuela. aksonin@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería de Métodos, Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo. Av. Universidad, Valencia, Venezuela. rillada@gmail.com

### **Resumen**

*Este trabajo presenta un estudio sobre la influencia de los cambios en la tasa de producción sobre el manejo de materiales en proceso. La revisión teórica realizada en las áreas de Planificación de la Producción y Manejo de Materiales, mostró que hay un campo de investigación muy activo pero no se encontró evidencias de tratamiento simultáneo. Sobre estas ideas, se seleccionó y adaptó un problema de una empresa que manufacturan productos de consumo masivo y se seleccionaron los Algoritmos Evolutivos como herramienta para el análisis del caso. Se aplicó un Algoritmo Evolutivo para estudiar los efectos de los cambios en la tasa de producción en el manejo de materiales, siendo la matriz flujo dependiente del volumen de producción por período de tiempo determinado por la aplicación de un Algoritmo Evolutivo Paralelo. El análisis de los costos, permite concluir que mantener sin cambios la referida distribución es más costoso en casi todos los períodos, especialmente donde la producción baja. Se espera que ambos algoritmos, faciliten la toma de decisiones pues simplifica la planificación de las operaciones y minimiza costos de preparación y manejo con base en la información de producción y las diferentes combinaciones de los materiales en los tanques disponibles.*

Palabras clave: Manejo de Materiales, Planificación de Producción, Algoritmos Evolutivos

### **1. Introducción**

El manejo de materiales es una operación presente en todas las fases de producción, en la adquisición y almacenamiento de las materias primas, durante el proceso de transformación, y en el suministro de los productos terminados a los clientes, por ello es importante considerarla dentro de cualquier proyecto de mejora industrial, puesto que los costos asociados a esta actividad comprenden del 30 a 75% de los costos totales de manufactura (Niegel y Freivalds, 2004).

Cuando se habla de almacenamiento ya sea de materia prima, materiales en proceso o producto terminado, es necesario determinar: el espacio que requiere cada material para su resguardo, las condiciones de seguridad que ellos requieren, los equipos que se usaran para su traslado y cuál es la mejor localización de cada uno. Esta clase de problemas se caracteriza por un espacio de soluciones que crece en forma combinatoria a medida que aumenta el número de ítems o materiales a ubicar, por lo que se hace necesario la utilización de técnicas heurísticas de búsqueda que suministren resultados satisfactorios y a menor costo computacional. De allí la selección de los Algoritmos Evolutivos, como herramienta para el análisis de un caso que considerara la influencia de los cambios que ocurren en los niveles de producción sobre la localización de los materiales en proceso.

Los algoritmos evolutivos forman parte de la familia de heurísticas denominada métodos evolutivos. Son algoritmos de optimización numérica inspirados tanto por la selección como

la genética natural. El método es general, capaz de ser aplicado a un rango extremadamente grande de problemas, con excelentes resultados y están siendo usados para ayudar a resolver problemas prácticamente a diario (Coley, 1999). Gracias a sus fortalezas se han encontrado aplicaciones en prácticamente todas las áreas de la ingeniería industrial donde se necesite optimizar funciones (Alander, 2001).

La revisión teórica realizada en las áreas de Planificación de la Producción y Manejo de Materiales, a fin de identificar las tendencias actuales, mostró que hay un campo de investigación muy activo pero no se encontró ninguna evidencia de tratamiento simultáneo de estos problemas.

Según Custódio y Pinto (1996) no existe un marco teórico unificado para manejar estos problemas cuando se enfocan desde el punto de vista del sistema de manufactura completo, lo que podría constituirse, junto a su complejidad, en las razones de peso para el tratamiento por separado.

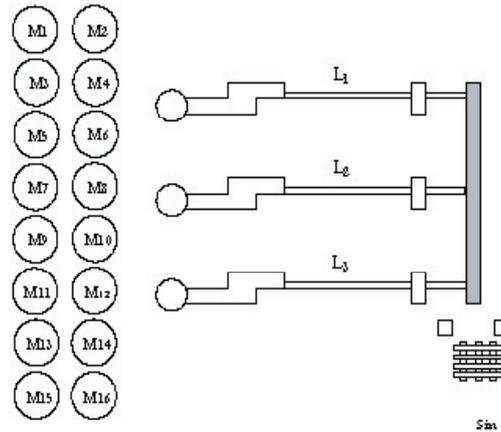
Sobre la base de la idea de un tratamiento conjunto de ambos problemas, se seleccionó y adaptó la situación real de una empresa donde se manufacturan productos de consumo masivo en diferentes presentaciones y fórmulas, que se utilizan para la higiene personal. En el caso en estudio, se utilizaron los datos históricos suministrados por la empresa en cuatro marcas y se aplicó un Algoritmo Evolutivo para estudiar los efectos de los cambios en la tasa de producción en el manejo de materiales, siendo la matriz flujo dependiente del volumen de producción por período de tiempo determinado por la aplicación de un Algoritmo Evolutivo Paralelo (AEP) (Maneiro, Loyo e Illada, 2006). Luego se aplicó un Algoritmo Evolutivo Secuencial (AES), para estudiar los efectos de los cambios en la tasa de producción en el manejo de materiales en proceso.

## 2. Descripción del Sistema y su Problemática

En el proceso de producción se usan dieciséis materiales ubicados en tanques que alimentan tres líneas de producción con diferentes capacidades, variando según requerimientos de la marca que se fabricará. Los tanques de almacenamiento de materiales alimentan las tres líneas existentes. Las líneas ( $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ ) están automatizadas, y pueden mezclar, llenar, estuchar y empacar el producto, que luego será paletizado manualmente al final de las mismas. En la Figura 1 se esquematiza la ubicación de los equipos y tanques con respecto a las líneas.

Estos tanques contienen los materiales base que se utilizan en la fabricación de cuatro marcas de producto y deben ser higienizados cada siete días, independientemente si se va a mantener o no el mismo material dentro de él, puesto que es un requerimiento establecido por las normas de higiene y calidad que debe tener el producto final.

En el proceso, tal como se realiza en la actualidad, cada material es depositado en un tanque sin verificar si su localización es la adecuada, ni si es coherente con los requerimientos de producción. Posteriormente, se realizan las conexiones a través de tuberías que los conducen hacia las tres líneas de producción, todo esto de acuerdo con el plan de producción que se consigne. La línea 1 es la que posee mayor capacidad, pudiendo procesar el 40% del volumen de producción; las líneas dos y tres poseen capacidad igual a 30% cada una, y todas las líneas pueden producir todos los productos.



**Figura 1.** Representación de Distribución Actual de los tanques y líneas de producción

De lo anterior se deduce que el problema planteado es un problema de determinar la mejor localización o ubicación de los materiales en los tanques que alimentan la línea de producción. Se propone para la solución del problema descrito *considerar los dieciséis materiales como facilidades que deben ser localizadas o ubicadas en los sitios disponibles, representados por los dieciséis tanques, a fin de minimizar una función de costos.*

Estos rasgos caracterizan al problema como combinatorio, debido a que su espacio de soluciones crece en forma combinatoria a medida que aumenta el número de localidades e ítems o materiales a ubicar, y pertenece a una clase de problemas conocida como QAP (*Quadratic Assignment Problem*).

En el caso en estudio se asumió que la demanda y los costos asociados se comportan, en forma aproximada, de acuerdo con el modelo de plan de producción resultante de la aplicación de un Algoritmo Evolutivo Paralelo desarrollado para obtener la mejor combinación tasa de producción-período de tiempo (Maneiro, Loyo e Illada, 2006), dado por:

$$\text{Tasa de demanda } r(t) = 1 + \text{sen}\left(\frac{t}{T} 4\pi\right) \quad 0 \leq t \leq T \tag{1}$$

$$\text{Costo de la función de producción por unidad de tiempo } c(z) = c \cdot z \tag{2}$$

Costo de la función de cambio de la tasa de producción por unidad de tiempo:

$$g\left(\frac{dz}{dt}\right) = k + w \cdot \left|\frac{dz}{dt}\right| \tag{3}$$

Costo de inventario por unidad de tiempo, está definido como

$$l(y) = \begin{cases} h \cdot y, & y \geq 0 \\ s \cdot (-y), & y < 0 \end{cases} \tag{4}$$

Función Objetivo: Minimizar

$$J(z) = \int_0^T \{c(z(t)) + g(dz(t)/dt) + l(y(t))\} dt \tag{5}$$

## 2.1. Modelo Matemático del Problema

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

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el material } i \text{ es asignado al sitio } k, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (6)$$

y sea  $d_{ikjh}$  la distancia entre las facilidades  $i$  y  $j$  localizadas en los sitios  $k$  y  $h$ , respectivamente, entonces el modelo general del QAP puede plantearse como sigue:

$$\begin{aligned} \min f(x) &= \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^n d_{ikjh} x_k x_h \quad \text{sujeto a} \\ \sum_{i=1}^n x_k &= 1, k = 1, \dots, n \\ \sum_{k=1}^n x_k &= 1, i = 1, \dots, n \quad x_k = 0, 1 \text{ para todo } i, k \end{aligned} \quad (7)$$

Los problemas cuadráticos de asignación de facilidades cubren una extensa clase de problemas (Francis y White, 1974), en asignaciones de áreas iguales o diferentes para las correspondientes facilidades (Kochhar et al, 1998) (Albarracín et al, 2006) (Maneiro e Illada, 2005b) y problemas de asignación en líneas (Maneiro y Loyo, 2003) y transporte (Pereira et al, 2002) (Pankratz, 2005) (Caputo et al., 2006); en particular, utilizando un proceso similar al de este trabajo, se resolvió un problema de localización de materiales en un almacén de producto en proceso (Maneiro e Yllada, 2005a). De allí, que puede utilizarse como modelo de resolución del problema de Manejo de Materiales considerado.

## 3. Solución del Problema

Para resolver la versión original de este problema se aplicó un algoritmo evolutivo que calculó la mejor localización de materiales en los tanques a fin de minimizar los costos de manejo de materiales, expresados como el producto del flujo por la distancia recorrida por las tuberías. La nueva aplicación, consiste en que la matriz flujo es dependiente del volumen de producción por período de tiempo y este volumen está determinado por la solución dada por el Algoritmo Evolutivo Paralelo.

De acuerdo con las ejecuciones realizadas por el AEP la mejor solución obtenida, con un valor objetivo de 10516,6602 unidades, es la que se muestra en la Tabla 1, donde  $r_i$  representa la tasa de producción y  $t_i$  el período de tiempo en semanas.

Se efectuarán 5 cambios durante el horizonte de planeación, por lo que se obtendrán tantas matrices de flujo como cambios se observen en las tasas de producción. Adicionalmente, se tomará en consideración el hecho de que la empresa necesita hacer mantenimiento preventivo a sus líneas a partir de la semana 60 del horizonte de planeación, cuya duración aproximada es de dos semanas para cada línea, lo que obliga a redireccionar el flujo de producción entre las líneas restantes.

**Tabla 1.** Mejor Individuo Obtenido

$T_1$	$R_1$	$T_2$	$R_2$	$T_3$	$R_3$	$T_4$	$R_4$	$T_5$	$R_5$
37.74799	1.201631	38.853359	1.187617	39.534355	0.867806	59.571575	0.870622	100	0.871136

### 3.1. Especificaciones del Algoritmo utilizado

#### 3.1.1 Representación

Para representar los individuos de la población, se utilizaron permutaciones de 16 elementos, en ocho pares, donde cada una de las coordenadas representa la ubicación de un material en el tanque correspondiente. Sin embargo, el resultado final es mostrado en forma matricial, haciendo una construcción analógica de la distribución real en planta.

#### 3.1.2 Operadores Evolutivos Empleados

Se utilizó el operador de Cruce en un punto (one-point crossover o single-point crossover) y el operador de Mutación por intercambio entre dos elementos, que consiste en la selección aleatoria de dos elementos del individuo a ser mutado, e intercambiar las posiciones respectivas de dichos elementos. Estos operadores fueron acompañados de una estrategia elitista que preservó el mejor individuo de cada generación para las generaciones siguientes.

#### 3.1.3 Matrices Requeridas

Para la aplicación del algoritmo, es necesario recoger toda la información del proceso, el producto, los materiales, los equipos, y el flujo o cantidad de material que viaja a través de las tuberías desde los tanques a las líneas. Ésta es plasmada en cinco matrices que el algoritmo necesita para su correcto funcionamiento:

##### – Matriz Entrada

Esta Matriz  $n \times 1$  contiene las probabilidades de cruce y mutación, el número de generaciones, y el número de individuos por cada generación. Para este problema se escogieron los valores de los parámetros evolutivos que se muestran en la tabla 2, sobre la base de estudios previos (Tate y Smith, 1995, citado por Maneiro y Loyo, 2003; Maneiro e Illada, 2005a y 2005b; Yllada et al, 2003)

Tabla 2. Valores de los Parámetros Evolutivos

Nº de individuos	60
Prob. de cruce	0.85
Prob. de mutación	0.25
Nº de Generaciones	2000
Nº de Corridas	20

##### – Matriz Localidad

Con ella se informa dónde se encuentran las localizaciones. La nomenclatura utilizada es la siguiente:

**(-1):** localidad, ocupada o no, en la que la asignación de otra facilidad es imposible.

**(-2,-3,...):** localidad asignada a una facilidad previamente establecida, inamovible y que tiene relación directa con el proceso estudiado. En este caso, corresponden a las tres líneas de llenado.

**(1,2,...):** los números enteros positivos distintos de cero, se utilizan para indicar las posibles localizaciones de los dieciséis materiales a ubicar.

#### – Matriz de Flujo

En ella se establece la cantidad de litros por hora, viajes por día, unidades monetarias por metro, o cualquier otra unidad que permita medir bajo un mismo patrón, el flujo de materiales hacia las líneas. Esta matriz de  $16 * 3$ , indica la cantidad de flujo de materiales que se dirigen a las tres líneas (Destino).

#### – Matriz Requerimiento

Está compuesta por tres columnas, la primera identifica numéricamente los tanques o posibles localidades, en la segunda se coloca el número de localidades asignadas a cada mezcla, y en la tercera se acumula esta cantidad. En este caso, se asigna un solo material a cada tanque, puesto que esos son sus requerimientos.

#### – Matriz Distancia

En la cual se registra la longitud, que existe entre las diferentes localidades posibles (Tanques) para ubicar los materiales y las líneas de producción. En este caso la matriz distancia ha sido simplificada, usando un paso equivalente a 3,5 metros y se ha construido usando distancias rectilíneas, de centro a centro.

Una vez introducidas las matrices se ejecuta el algoritmo para analizar la solución que éste proporcione, mostrando la distribución recomendada y el valor de la función objetivo.

## 4. Resultados

Como la matriz base para la obtención de los resultados es la matriz flujo, se procedió a calcular la matriz para cada uno de los períodos del horizonte de planeación. Una vez que se llegó a la semana 60 del horizonte, se consideró la parada consecutiva por períodos de tres semanas de cada una de las líneas; este período es el que la empresa estima que puede tardar el mantenimiento y posterior puesta a punto de cada línea, por lo que los flujos se consideraron con valor cero y se repartió la carga entre las líneas en operación.

Los volúmenes de producción por marca y período se muestran en la Tabla 3. Es importante señalar que para efectos prácticos se llevaron las tasas de producción por marca a dos decimales, y como la diferencia entre los períodos 1-2 y 3 a 5 es muy pequeña, parecen ser iguales. Los totales por período corresponden al volumen de producción propuesto por el AE Paralelo.

Un ejemplo de la matriz resultados se presenta en la Figura 2 y los resultados para cada período considerado se muestran en la Figura 3. La localización proporcionada por el algoritmo, y la ubicación de las líneas se encuentran sombreadas.

**Tabla 3.** Volumen de Producción por Marca y Período

Marca	Producción Promedio	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
1	0.48	0.58	0.57	0.42	0.42	0.42
2	0.25	0.30	0.30	0.22	0.22	0.22
3	0.16	0.19	0.19	0.14	0.14	0.14
4	0.11	0.13	0.13	0.10	0.10	0.10
Total	1.00		1.1876			0.87114

10	1	-1	-1
16	14	-1	-2
5	4	-1	-1
3	13	-1	-1
6	7	-1	-3
15	11	-1	-1
9	12	-1	-1
2	8	-1	-4

Leyenda:

(-1)= Localidades, ocupadas o no, en la que la asignación de otra facilidad es imposible

1...16= Indican las posibles ubicaciones de los materiales a colocar

(-2, -3, -4)= Localidad asignada a una facilidad previamente establecida, inamovible y que tiene relación directa con el proceso estudiado. En este caso, las Líneas de Producción

**Figura 2.** Ejemplo de Matriz Localidad donde se muestra la salida del algoritmo y su interpretación.

Las matrices de la Figura 3 son el resultado de veinte corridas del algoritmo en cada período estudiado, escogiéndose la solución que proporcione el menor costo. Para la obtención de las soluciones en los casos de las líneas en mantenimiento, se asignó el valor (-1) en la matriz localidad para que el programa lo considerara como sin relación con el caso estudiado y solo asignara tomando en cuenta las líneas en operación.

El resultado final es mostrado en forma matricial, haciendo una construcción analógica de la distribución de los materiales en los tanques, como se muestra en las Figuras 2 y 3. Los resultados presentados muestran la aplicación del AES a cada uno de los períodos que exige el plan de producción dado por el AEP. Obsérvese que la diferencia de tiempo (en semanas) entre los períodos 1 y 2, es muy pequeña, ni siquiera una semana, por lo que en este caso podría resultar más costoso cambiar la localización de los tanques y el encargado podría decidir dejar la primera localización hasta la semana 38,55. Otro aspecto interesante de analizar es que para los períodos 3, 4 y 5 se tiene un mismo nivel de producción igual a 7744 unidades, por lo que también podría dejarse la misma localización, excepto en los períodos en los que se efectúe el mantenimiento de las líneas.

Se hizo también un análisis de los costos de dejar la localización tal como está y o localizar de acuerdo con el Plan. La Tabla 4, muestra dichos costos y la diferencia entre ambos. Se puede ver que mantener la localización sin cambios es más costoso en casi todos los períodos, especialmente donde la producción baja. Éstas son las decisiones importantes que debe tomar el analista, que claramente están asociadas al riesgo de ahorrar costos o no.

Cada una de estas soluciones proporciona el mínimo costo, en cada período, en términos de manejo de materiales, menor tramo de tubería para el transporte de los materiales hasta las líneas, menor consumo de tiempo en la preparación para producir cada lote de producto y como consecuencia mayor tiempo productivo de las líneas.

El tiempo promedio total de obtención de las soluciones es de 24 segundos, lo que demuestra la rapidez con la que se puede disponer de una nueva localización, adaptada a las necesidades de producción.

<table border="1"> <tbody> <tr><td>13</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>4</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>5</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>16</td><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>10</td><td>6</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>9</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 1</b> (Hasta el período 37.75)  <b>Volumen de Producción:</b> 14400 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 65028.90625</p>	13	12	-1	-1	14	4	-1	-2	11	5	-1	-1	16	3	-1	-1	10	6	-1	-3	2	7	-1	-1	15	9	-1	-1	8	1	-1	-4	<table border="1"> <tbody> <tr><td>13</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>10</td><td>16</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>5</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>9</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>6</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 2</b> (Desde 37.75 hasta 38.55)  <b>Volumen de Producción:</b> 14161 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 67276.5</p>	13	12	-1	-1	10	16	-1	-2	11	5	-1	-1	15	9	-1	-1	14	6	-1	-3	2	7	-1	-1	4	3	-1	-1	8	1	-1	-4	<table border="1"> <tbody> <tr><td>13</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>5</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>10</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>4</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>16</td><td>7</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 3</b> (Desde 38.55 hasta 39.53)  <b>Volumen de Producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 36840</p>	13	12	-1	-1	14	5	-1	-2	11	10	-1	-1	3	9	-1	-1	15	4	-1	-3	6	2	-1	-1	16	7	-1	-1	8	1	-1	-4
13	12	-1	-1																																																																																															
14	4	-1	-2																																																																																															
11	5	-1	-1																																																																																															
16	3	-1	-1																																																																																															
10	6	-1	-3																																																																																															
2	7	-1	-1																																																																																															
15	9	-1	-1																																																																																															
8	1	-1	-4																																																																																															
13	12	-1	-1																																																																																															
10	16	-1	-2																																																																																															
11	5	-1	-1																																																																																															
15	9	-1	-1																																																																																															
14	6	-1	-3																																																																																															
2	7	-1	-1																																																																																															
4	3	-1	-1																																																																																															
8	1	-1	-4																																																																																															
13	12	-1	-1																																																																																															
14	5	-1	-2																																																																																															
11	10	-1	-1																																																																																															
3	9	-1	-1																																																																																															
15	4	-1	-3																																																																																															
6	2	-1	-1																																																																																															
16	7	-1	-1																																																																																															
8	1	-1	-4																																																																																															
<table border="1"> <tbody> <tr><td>13</td><td>11</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>5</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>16</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 4</b> (Desde 39.53 Hasta el período 59.57)  <b>Volumen de Producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 36886.3984</p>	13	11	-1	-1	15	5	-1	-2	12	10	-1	-1	7	3	-1	-1	14	16	-1	-3	9	8	-1	-1	4	2	-1	-1	6	1	-1	-4	<table border="1"> <tbody> <tr><td>14</td><td>13</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>6</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>4</td><td>10</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>16</td><td>7</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>5</td><td>11</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 5. Línea 1 en mantenimiento</b>  <b>Solución 1:</b> Desde 60 hasta período 62.  <b>Volumen de producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 33248</p>	14	13	-1	-1	8	12	-1	-1	15	6	-1	-1	4	10	-1	-1	16	7	-1	-3	3	9	-1	-1	5	11	-1	-1	2	1	-1	-4	<table border="1"> <tbody> <tr><td>15</td><td>16</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>6</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>5</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>13</td><td>4</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>7</td><td>11</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>9</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 5. Línea 1 en Mantenimiento</b>  <b>Solución 2:</b> Desde 63 hasta período 65.  <b>Volumen de producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 39888.51953</p>	15	16	-1	-1	8	6	-1	-1	14	5	-1	-1	12	10	-1	-1	13	4	-1	-3	3	2	-1	-1	7	11	-1	-1	9	1	-1	-4
13	11	-1	-1																																																																																															
15	5	-1	-2																																																																																															
12	10	-1	-1																																																																																															
7	3	-1	-1																																																																																															
14	16	-1	-3																																																																																															
9	8	-1	-1																																																																																															
4	2	-1	-1																																																																																															
6	1	-1	-4																																																																																															
14	13	-1	-1																																																																																															
8	12	-1	-1																																																																																															
15	6	-1	-1																																																																																															
4	10	-1	-1																																																																																															
16	7	-1	-3																																																																																															
3	9	-1	-1																																																																																															
5	11	-1	-1																																																																																															
2	1	-1	-4																																																																																															
15	16	-1	-1																																																																																															
8	6	-1	-1																																																																																															
14	5	-1	-1																																																																																															
12	10	-1	-1																																																																																															
13	4	-1	-3																																																																																															
3	2	-1	-1																																																																																															
7	11	-1	-1																																																																																															
9	1	-1	-4																																																																																															
<table border="1"> <tbody> <tr><td>10</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>9</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>13</td><td>16</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>4</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>6</td><td>8</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 5. Línea 2 en Mantenimiento</b>  Desde 63 hasta período 65.  <b>Volumen de producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 39888.51953</p>	10	12	-1	-1	14	9	-1	-2	11	2	-1	-1	5	7	-1	-1	13	16	-1	-1	3	1	-1	-1	15	4	-1	-1	6	8	-1	-4	<table border="1"> <tbody> <tr><td>10</td><td>12</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>4</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>13</td><td>5</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>9</td><td>15</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 5 Línea 3 en Mantenimiento.</b>  Desde 66 hasta período 68  <b>Volumen de producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 32042.30273</p>	10	12	-1	-1	14	2	-1	-2	11	4	-1	-1	3	1	-1	-1	13	5	-1	-3	6	7	-1	-1	9	15	-1	-1	16	8	-1	-1	<table border="1"> <tbody> <tr><td>13</td><td>11</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>15</td><td>5</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>14</td><td>16</td><td>-1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Período 5</b>  Desde 69 hasta período 100  <b>Volumen de producción:</b> 7744 unidades  <b>Valor Objetivo alcanzado:</b> 36886.39844</p>	13	11	-1	-1	15	5	-1	-2	12	10	-1	-1	7	3	-1	-1	14	16	-1	-3	9	8	-1	-1	4	2	-1	-1	6	1	-1	-4
10	12	-1	-1																																																																																															
14	9	-1	-2																																																																																															
11	2	-1	-1																																																																																															
5	7	-1	-1																																																																																															
13	16	-1	-1																																																																																															
3	1	-1	-1																																																																																															
15	4	-1	-1																																																																																															
6	8	-1	-4																																																																																															
10	12	-1	-1																																																																																															
14	2	-1	-2																																																																																															
11	4	-1	-1																																																																																															
3	1	-1	-1																																																																																															
13	5	-1	-3																																																																																															
6	7	-1	-1																																																																																															
9	15	-1	-1																																																																																															
16	8	-1	-1																																																																																															
13	11	-1	-1																																																																																															
15	5	-1	-2																																																																																															
12	10	-1	-1																																																																																															
7	3	-1	-1																																																																																															
14	16	-1	-3																																																																																															
9	8	-1	-1																																																																																															
4	2	-1	-1																																																																																															
6	1	-1	-4																																																																																															

Figura 3. Localización resultante para los períodos estudiados

Tabla 4. Diferencias de Costos de Localización por Período

Período	Valor Obj. para la localización adaptada a los cambios de producción	Valor Obj. para la localización sin cambios de producción	Diferencia
1	65028.91	68422.2	-3393
2	67276.5	67369.1	-92.6
3	36840	36902.4	-62.4
4	36886.398	35696	1190.4
5	33248	35696	-2448
	39888.5195	40569.6	-681.1
	32042.3027	34260.64	-2218
	36886.3984	47582.6	-10696
Total Ahorro			-18401.511

Sobre la base de los costos asociados a cada material, el analista estará en capacidad de escoger esa distribución u otra más conveniente entre las ofrecidas por el algoritmo. Es importante señalar, que el algoritmo proporciona soluciones múltiples cuando ello es posible, como en el caso del Período 5 en el que proporciona dos distribuciones diferentes, al mismo valor de costo mínimo.

Así mismo, el caso presentado ilustra cómo el uso de ambos algoritmos facilita a la empresa la evaluación periódica de cuál es la mejor localización de los materiales, en función de las variaciones de la demanda y -por ende- de la Planificación de Producción, adaptando el proceso continuamente y extrayendo el máximo provecho de la condición obligada de higienizar los tanques que sirven de depósito a los materiales o como fue el caso planteado, que se aprovechó el descenso de producción experimentado para hacer mantenimiento a las líneas.

Como puede verse, esta mejor localización garantiza adaptación y un menor costo de manejo. Este beneficio debe ser visto en forma sistémica, por el impacto que esta mejor distribución hace –a su vez- sobre la Planificación de Producción, al dar una rápida respuesta a los cambios en la demanda, aprovechando la obligatoriedad de los procesos de preparación que imponen las normas de higienización, de manera de adaptarse y producir a menor costo, convirtiendo a un costo obligado en una oportunidad de mejora constante.

Se espera que esta aplicación combinada de los algoritmos evolutivos sea una herramienta de apoyo y facilite la toma de decisiones para el encargado de producción, pues simplifica la planificación de las operaciones, contribuyendo con la minimización de los costos de preparación y manejo con base en la información de producción y las diferentes combinaciones de los materiales en los tanques disponibles.

## Referencias

- Alander, J. (2001) An indexed Bibliography of Genetic Algorithms and Neural networks. Department of Information Technology and Production Economics. University of Vaasa. Finlandia.
- Albarracín, J.; Palmer, M.; García, J. y Babiloni, E. (2006) Algoritmo evolutivo para el problema de la ubicación de productos en estanterías de una gran superficie. X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia, 7 y 8 de septiembre. España.
- Caputo, A., Fratocchi, L. y Pelagagge, P. (2006) A genetic approach for freight transportation planning. *Industrial Management & Data Systems*. Volumen 106, Issue 5, pp. 719-738
- Coley, David A. (1999) An introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific Publishing Co, USA, Third Reprinting 2005
- Custódio, L. y Pinto-Ferreira, C. (1996). Issues and Difficulties in the Design and Control of Manufacturing Systems. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE/ECLA/IFIP International Conference on Architectures and Design Methods for Balanced Automation Systems (BASYS'96), Workshop on Theoretical Problems on Manufacturing Systems Design and Control, Lisboa, Portugal.
- Francis, R. y White, J. (1974) Facility Layout and location. Prentice\_Hall, Inc.
- Jajodia, S.; Minis, I.; Harhalakis, G. y Proth, J.M. (1992) CLASS: Computerized Layout Solutions using Simulated Annealing, *International Journal of Production Research*, 30, 1, 1992, pp. 95-108.

Kochhar, S; Foster, B. y Heragu, S. (1998) Hope: A Genetic Algorithm for the Unequal Area Facility Layout Problem. *Computers Ops Res.* Elsevier Science Ltd. Vol. 25, No. 7/8, pp. 583-594.

Maneiro, N. y Loyo, J. (2003) Enfoque Evolutivo para problemas de localización de Facilidades en Líneas de Ensamble con Backtracking. *Revista Ingeniería UC.* Vol.6, N° 2, Agosto 2003, pp. 60-69.

Maneiro, N. e Yllada, R. (2005a). Layout of Materials in a warehouse of products in process using evolutionary algorithms. *Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. PICMET'05*

Maneiro, N. e Illada, R. (2005b). Optimización del Manejo de Materiales en una Empresa fabricante de Cremas Dentales mediante Métodos Evolutivos. *Revista Ingeniería Industrial.* Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Vol. XXVI, No. 1, Año 2005. pp 43-48, La Habana, Cuba.

Maneiro, N.; Loyo, J. e Illada, R. (2006). Solving a production planning problem using a parallel evolutionary algorithm. *11<sup>th</sup> Annual International Conference of Industrial Engineering, Theory, Applications and Practice.* Nagoya, Japan, October 24-27, 2006.

Niebel, B.; Freivalds, A. (2004). *Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*, 11<sup>a</sup> Ed. Alfaomega, España.

Pankratz, G. (2005). Dynamic vehicle routing by means of a genetic algorithm. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 35, N° 5, pp. 362-383.

Pereira, F.; Tavares, J.; Machado, P.; Costa, E. (2002) GVR: a New Genetic Representation for the Vehicle Routing Problem. *13th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science, AICS '02.* 12-13 Septiembre, 2002

Yllada, R.; Maneiro, N.; Isaac, C. (2003) Técnicas Evolutivas para la localización de Facilidades en una empresa productora de envases de aluminio, *Revista Ingeniería UC.* Vol.6, N° 2, Agosto 2003, pp. 70-78