

## Algoritmo evolutivo para el problema de la ubicación de productos en las estanterías de una gran superficie

José M. Albarracín Guillem<sup>1</sup>, Marta E. Palmer Gato<sup>1</sup>, José P. García Sabater<sup>1</sup>, Eugenia Babiloni Griñón<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. [jmalbarr@omp.upv.es](mailto:jmalbarr@omp.upv.es), [marpalga@omp.upv.es](mailto:marpalga@omp.upv.es), [jpgarcia@omp.upv.es](mailto:jpgarcia@omp.upv.es), [mabagri@doctor.upv.es](mailto:mabagri@doctor.upv.es)

### Resumen

*El presente trabajo pretende aportar soluciones en el campo de la distribución de espacios en grandes superficies comerciales. El problema aparece cuando se decide ubicar una nueva tienda en un lugar determinado. En una primera fase se acondiciona el establecimiento para que las necesidades funcionales estén perfectamente cubiertas. En una fase posterior se ubican las estanterías en la superficie dedicada a tienda. A partir de este instante es necesario decidir qué productos y en qué cantidades serán ubicados en las estanterías teniendo en cuenta requerimientos definidos por la empresa, para lograr una situación de “tienda estándar”. El desarrollo de nuevos tipos de establecimientos, caracterizados por un mayor tamaño, no ha permitido resolver el problema, debido a que se ha producido un fuerte incremento en el número de productos ofrecidos en las tiendas, que supera el mencionado aumento de la superficie en los establecimientos. El reparto de espacio que se asigna a cada uno de los productos, no es más que la consecuencia de la estrategia planteada por el detallista para conseguir sus objetivos. En el documento se aborda la nueva situación planteando diversos enfoques, exactos y heurísticos que aúnan los nuevos objetivos.*

**Palabras clave:** programación matemática, heurísticas, asignación

### 1. Introducción

La asignación de espacio, recurso escaso y finito, entre los distintos productos y referencias que conforman el surtido de una superficie comercial que, por otra parte, son cada vez más numerosos, es hoy día, una de las preocupaciones esenciales de la dirección detallista. El desarrollo de nuevos tipos de establecimientos, caracterizados por un mayor tamaño, no ha permitido solventar el problema, ya que, paralelamente, se ha producido un fuerte incremento en el número de productos ofrecidos en las tiendas, que supera el mencionado aumento de superficie en los establecimientos.

La importancia de tal decisión tiene que ver de su relación directa con la rentabilidad detallista, en cuanto que afecta tanto a los costos como a los ingresos. La razón fundamental se deriva de la ausencia de personal de ventas que caracteriza al mismo y que exige al producto auto argumentarse. Para ello, además de otras consideraciones, es necesaria una presencia suficiente del producto, que permita al cliente su percepción, ya que de otro modo, si éste no ve un artículo no podrá comprarlo.

### 2. Descripción del problema

## 2.1. Productos

En las grandes superficies se puede adquirir un variado surtido de artículos. El surtido estará formado por aquellos artículos que los propietarios del establecimiento consideran oportuno para abastecer la demanda esperada. Cuanto más se ajuste este surtido a las necesidades de los clientes en variedad y precio más probable es que el establecimiento sea rentable dado que los clientes encontrarán atractivo y ajustado a sus necesidades el establecimiento e irán a comprar lo que propiciará el beneficio de la gran superficie.

Una estructura bien organizada del surtido conduce al éxito del establecimiento, reforzando su auténtica imagen corporativa con el fin de conseguir la compleja, y muchas veces extraña, coincidencia entre surtido ofrecido por el detallista y el esperado por la clientela clave.

Definir la estructura del surtido implica ordenar la totalidad de las referencias existentes en el comercio, dividiéndolas en una serie de niveles que permitan su identificación y su clasificación, así como su localización en el punto de venta. No se pueden organizar ni gestionar eficazmente los cientos de referencias que forman el surtido de una tienda, sin seguir una estructura lógica y coherente en la que guiarse.

Llamamos  $S$  a dicho SURTIDO.

Este surtido está dividido en agrupaciones homogéneas que representan los “ambientes” (áreas de negocio) que se pueden identificar en el hogar del consumidor estándar. A cada una de estas áreas de negocio las denominaremos SECCIONES ( $s_i$ ). Así:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$$

El objetivo de estos ambientes evidentemente será facilitar la búsqueda de un determinado artículo por parte del cliente identificando fácilmente el entrar al establecimiento la zona en la que se encuentra.

Cada sección estará formada, a su vez, por los diferentes elementos que lo forman que les denominaremos CATEGORÍA ( $c_i$ ).

$$\text{Así, } s_1 = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$$

Las familias corresponden a un conjunto de artículos que satisfacen la misma necesidad genérica, formando diferentes categorías de productos. Las referencias: corresponden a unidades de venta que satisfacen la misma necesidad específica. Las referencias definen la marca, el formato, el modelo y el contenido del producto; habrá tantas como artículos disponga el establecimiento.

Estas clasificaciones definen la variedad de artículos que estarán disponibles en la gran superficie para cumplir con las expectativas de los clientes potenciales.

## 2.2. Espacio disponible

Destacar la importancia de la distribución en un sistema de venta tipo autoservicio en el cual el cliente es el protagonista del acto de compra.

Así pues, el surtido y el espacio de venta son dos aspectos fundamentales de los cuales depende en buena medida la rentabilidad que el detallista pueda obtener en su negocio. La organización del espacio de venta es una de las tareas fundamentales a desarrollar, puesto que una distribución racional del espacio entre los clientes, los productos y el personal permitirá alcanzar los objetivos fijados en cuanto a la rentabilidad que el establecimiento espera alcanzar.

Se puede caracterizar como la unidad de espacio físico más pequeña donde ubicar las diferentes referencias del surtido, al módulo, que denominaremos .

La unión de diferentes módulos determinará, en función de las restricciones de la superficie disponible y de los requisitos de diseño, las góndolas .

Finalmente, las diferentes góndolas, según su ubicación, determinarán los pasillos del establecimiento .

### **2.3. El problema a resolver**

Una de las primeras tareas consiste en asignar el espacio disponible en el establecimiento al surtido definido por el responsable de la tienda. Esto se puede realizar en diversas fases:

1. Asignación de espacio a las secciones
2. Ubicación de las distintas categorías que forman una sección al espacio obtenido en el reparto anterior
3. Ubicación de cada una de las referencias dentro del espacio asignado a cada categoría.

Las dos primeras fases implican un reparto de espacio en el plano, mientras que la tercera tiene implicaciones verticales de reparto de espacio en altura.

Como la unidad más pequeña de espacio en el mobiliario que está definida era el módulo, es necesaria una conversión de los requerimientos de cantidades de referencias del surtido explicitados con anterioridad a necesidades de espacio medidas en módulos. Esto nos permitirá repartir el espacio físico disponible. Así pues: una categoría  $c_i$  que estaba definida por  $q_i$  referencias, cuantificado el espacio que ocupan dichas referencias se tendrá que la categoría  $c_i$  necesita  $p$  módulos para albergar las cantidades definidas previamente. Esto generará diferencias de necesidades de espacio función de las características de cada artículo.

Las dos primeras fases consistirán en un problema de asignación de módulos a secciones y categorías.

#### **2.3.1. Criterios para la asignación**

Evidentemente, uno de los objetivos de la generación del surtido era dividirlo en niveles que permitieran su identificación y su clasificación, así como su localización en el punto de venta. Por lo tanto se buscará que las secciones estén ubicadas en pro de este objetivo, pero además se deberán cumplir otra serie de requisitos necesarios, por ejemplo proximidad a punto de referencia significativos dentro de la estructura física del local; por ejemplo las cajas, el horno, etc.

También se pueden identificar necesidades de proximidad o lejanía entre las diferentes referencias a ubicar. Por ejemplo, necesidad de proximidad entre “Limpieza hogar” y “Aseo e higiene personal” por temas legales o la necesidad de lejanía entre “alimentos animales” y “comer” por motivos obvios.

Así pues, se puede identificar como objetivo el minimizar la dispersión de aquellas referencias que es interesante estén lo más cerca posible alejando aquellas que no lo son tanto.

### **2.3.2. Dimensión del problema**

Según la clasificación realizada por Palomares una gran superficie de tipo medio tendría la magnitud detallada a continuación:

- Secciones: de 15 a 20
- Categorías: entre 10 y 20
- Familia: de 6 a 10 referencias
- Total en el establecimiento: entre 5.000 y 7.000 referencias

Estas referencias, dependiendo del tamaño y volumen, se pueden trasladar a necesidades de espacio medidas en módulos, lo que implicaría entre 230 y 400 aproximadamente.

### **2.3.3. Variaciones en el espacio necesario y el disponible**

El surtido ofertado por una gran superficie es dinámico, se modifica a lo largo del tiempo en función de las necesidades detectadas en las percepciones de los clientes. Este dinamismo genera la introducción y eliminación de referencias en el surtido lo que significa modificaciones en las necesidades de espacio en las estanterías para una correcta ubicación de los mismos.

Por otra parte, los módulos disponibles en el establecimiento es una cantidad fija definida en el momento en que los ingenieros y diseñadores del local definen las instalaciones.

Con estas premisas, se pueden tipificar dos posibles situaciones:

1. Que el número de módulos disponibles en el establecimiento sea igual al número de módulos necesarios para la ubicación de todas las referencias definidas en el surtido. Situación que solamente ocurrirá en el momento de abrir una nueva instalación.
2. Que el número de módulos disponibles en el establecimiento sea distinto al número de módulos necesarios para la ubicación de todas las referencias definidas en el surtido.

Esta última situación genera en caso de exceso de módulos disponibles, módulos vacíos, lo cual es absurdo en un establecimiento. Y en el caso de necesitar más espacio del disponible en el establecimiento para ubicar todas referencias generaría que algunas referencias del surtido no estuviesen presentes.

Como ambas situaciones son contraproducentes para el buen funcionamiento del negocio es necesario resolver el problema, bien añadiendo más cantidades de referencias presentes en el lineal para cubrir los módulos vacíos, bien disminuyendo las cantidades presentes de algunas referencias para permitir la presencia de todas ellas.

Así pues, para cada categoría (definidas como divisiones dentro de la sección que agrupan varias familias en función de la necesidad genérica que satisfacen los productos que lo forman) se definirá una cantidad ideal a formar parte del surtido, una cantidad mínima y una máxima necesarias para cumplir con los objetivos definidos por el establecimiento, todas ellas expresadas en módulos necesarios.

Así,  $c_i = \{\min C_i, stdC_i, \max C_i\}$

Indicar que no será necesario definir para todas las categorías variaciones posibles (por ejemplo, aquellas de las que se definió en el surtido un módulo necesario evidentemente no se podrá disminuir y posiblemente no tenga sentido aumentar porque no sería vendible tanta cantidad en las estanterías).

Definidos estos márgenes mínimo y máximo, se hace necesario establecer unas preferencias en el orden, entre las diferentes categorías que forman el surtido, caso de ser necesario aumentar o disminuir los módulos dedicados a las mismas.

### **3. Estrategias de solución**

Una vez definido el problema se trata ahora de buscar soluciones al mismo, para ello se plantean las modelizaciones para el primero de los casos que se han considerado como factibles.

#### **3.1. Enumeración completa**

La forma más “sencilla” de buscar solución al problema planteado parece ser la enumeración completa de todas las posibilidades, su valoración respecto al objetivo y la selección de aquella que mejor lo cumpla.

El problema de asignación de 3 elementos a 3 lugares (por ejemplo, la asignación de categorías a módulos) trataría de encontrar el mejor orden de las categorías buscando minimizar la dispersión de las mismas. Esto implica en combinatoria permutaciones, lo que implica para 5 módulos 120 enumeraciones y para 8 módulos 40.320, lo que descarta la posibilidad de resolver el problema mediante la enumeración completa.

#### **3.2. Programación matemática**

Dado el problema de asignación de categorías a módulos es necesario definir previamente los elementos que aparecen en la modelización matemática para una correcta identificación de los mismos en las posteriores modelizaciones.

##### **3.2.1. Definiciones**

Índices:

$i, j :=$  hacen referencia a las categorías 1 .. C.

$k, l :=$  hacen referencia a los módulos 1 .. M.

Datos:

$A = a_{ij}$  Matriz de afinidades entre categorías construida tal que:

$$a_{ij} \begin{cases} < 0 & \text{en caso de que las categorías deban estar alejadas} \\ = 0 & \text{en caso de que sea indiferente su posición} \\ > 0 & \text{en caso de que las categorías deban situarse cercanas} \end{cases}$$

$D = d_{kl}$  Matriz de distancias entre módulos  
 $TS_i$  Número de módulos que necesita la categoría  $i$

Variables:

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si la categoría } i \text{ se asigna al módulo } k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$\delta_{ikjl} = \begin{cases} 1 & \text{si } x_{ik} = 1 \text{ y } x_{jl} = 1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

En el modelo básico general tenemos unas necesidades de espacio medidas en número de módulos que necesitamos para cada una de las categorías, dato al cual denominaremos en adelante  $TS_i$  (haciendo referencia a la tienda estándar, siendo  $TS_i \geq 1$ ). La necesidad de espacio, obtenida como la suma de las tiendas estándar de las categorías, es igual a la disponibilidad, dado por  $M$ .

Funcion Objetivo

$$\text{Min} \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M a_{ij} \cdot d_{kl} \cdot \delta_{ikjl} \quad \begin{matrix} j \geq i \\ k \neq l \end{matrix}$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^C X_{ik} = 1$$

$$\sum_{k=1}^M X_{ik} = TS_i$$

$$0 \leq X_{ik} + X_{jl} - 2 \cdot \delta_{ikjl} \leq 1 \quad j \geq i, k \neq l$$

### 3.3. Enfoque evolutivo

Por simplicidad, no se trabaja con la matriz  $X$  y en su lugar se reduce a un único vector, al que nos referiremos como cromosoma o individuo. En general, los cromosomas serán vectores de números naturales que, representan las categorías. La codificación específica y la función de adecuación ("fitness") dependerán de la versión particular del problema.

Se ha comenzado por generar una población aleatoria de individuos o cromosomas que representan soluciones al problema dado. La evolución procede entonces utilizando los siguientes operadores:

reOrderXover: es una variante del operador de cruce estándar que se puede utilizar cuando los cromosomas son permutaciones de una serie de números naturales y por tanto cada número

sólo puede aparecer una vez. Se seleccionan dos "padres" y se reordenan los genes (componentes) de cada uno a partir de un punto de cruce (elegido al azar) en el mismo orden en el que aparecen en el otro padre.

swap: se eligen al azar dos genes en un cromosoma y se intercambian sus valores.

shift (n): se desplazan los genes en un cromosoma un número aleatorio n de posiciones a la izquierda si  $n < 0$  o a la derecha si  $n > 0$ .

shuffle (n): dado un número aleatorio n, se selecciona al azar un segmento de n genes dentro del cromosoma y se "barajan" sus valores.

**Tabla 1.** Parámetros del algoritmo evolutivo

Parámetros del algoritmo evolutivo	
Tamaño de la población	100, 200
Método de selección	Torneo
Tamaño del torneo	5
Operador de cruce	reOrderXover
Operadores de mutación	swap, shift (n), shuffle (n)
Probabilidad de mutación	1/chromLength
Mecanismo de preservación de la diversidad	Reinicialización + sembrado
Aplicar cuando	El 80% de individuos son iguales

Para este caso inicial no se han considerado grupos, o más bien, se han considerado que cada categoría pertenece a su propio grupo. Para representar afinidades entre categorías los componentes de A tendrán valores de 1, -1 ó 0.

Se ha implementado un algoritmo genético donde los cromosomas se han codificado como vectores de longitud M donde cada componente i almacena la categoría asignada al módulo i.

Se han considerado módulos de longitud unidad y definido la distancia entre dos módulos consecutivos igual a 1. La función de fitness se ha definido como sigue:

$$f = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (d_{i,j} \cdot |a_{i,j}|)^{\text{sgn}(a_{i,j})}$$

donde:

$$\begin{aligned} d_{i,j} & \text{ es la distancia entre los módulos } m_i \text{ y } m_j \\ a_{i,j} & \text{ es la afinidad entre las categorías asignadas a los módulos } m_i \text{ y } m_j \\ \text{sgn}(a_{i,j}) & = \begin{cases} \text{sign}(a_{i,j}) & \forall a_{i,j} \neq 0 \\ 0 & a_{i,j} = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

y el objetivo consiste en minimizar f..

#### 4. Experiencias computacionales

Los modelos presentados en el apartado anterior se ha resuelto utilizando el software de programación matemática CPLEX (versión 6.5) en un ordenador Pentium IV 3.0 1 Gb de RAM obteniéndose los siguientes tiempos de respuesta:

**Tabla 2.** Resultados computacionales del modelo de programación matemática

Número de módulos	Tiempo de resolución
8	4 min. 28 seg.
9	34 min. 27 seg.
10	5 horas 29 min. 46 seg.
11	35 horas 25 min. 32 seg.

Lo que demuestra lo inviable de su utilización para la situación real de una gran superficie.

Se ejecutó el algoritmo evolutivo implementado en MATLAB encontrando la solución óptima, oscilando los tiempos de cálculo entre 3 y 60 segundos.

### **Agradecimientos**

El trabajo se enmarca en las investigaciones realizadas por el Departamento de Organización de Empresas y el Instituto Tecnológico de Informática de la Universidad Politécnica de Valencia en el proyecto “Aplicación de Algoritmos Naturales a problemas de logística” subvencionado por el Instituto para la Pequeña y Mediana Empresa de la Generalitat Valenciana.

### **Referencias**

- Anderson, E.E.; Amato, H.N. (1974): “A mathematical model for simultaneously determining the optimal brand collection and display area allocation”, *Operations Research*, Vol. 22, january-february, pp. 13-21
- Bai, R.; Kendall, G.; “An investigation of automated planograms using a simulated annealing based hyper-heuristic”. *Automated Scheduling, Optimisation and Planning Research Group, School of Computer Science an IT*. University of Nottingham.
- Lim, A.; Rodrigues, B.; Zhang, X. (2004), “Metaheuristics with local search techniques for retail shelf-space optimization” *Management Science*, Vol. 50, No 1, pp. 117-131.
- Yang, M.; Chen, W. (1999), “A study of shelf space allocation and management”. *International Journal of Production Economics*, 60-61, pp. 309-317.