

## BÚSQUEDA TABÚ PARA UN PROBLEMA DE DISEÑO TERRITORIAL DE MÁXIMA DISPERSIÓN

**Jabneel Rocio Maldonado Flores<sup>1</sup>, Roger Z. Ríos-Mercado**

Universidad Autónoma de Nuevo León  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México  
{[jabneel.roger](mailto:jabneel.roger@yalma.fime.uanl.mx)}@yalma.fime.uanl.mx

**Palabras Clave:** diseño territorial, máxima dispersión, metaheurísticas, búsqueda tabú

**Resumen:** *En el presente trabajo se presenta y discute el modelado de un problema real de creación de territorios a partir del cual se pretende desarrollar un método heurístico de solución. Desde el año 2003 en la Unión Europea la recolección y reciclaje de aparatos electrodomésticos es por ley obligatoria, recayendo en las mismas compañías fabricantes en un porcentaje proporcional al volumen de sus ventas en el mercado. En contraste con el problema de diseño de territorios clásico, lo que buscamos es crear territorios con máxima dispersión para cumplir con las leyes anti-monopolio, a la vez que deseamos obtener territorios balanceados respecto a diversos criterios.*

### 1. Introducción

El presente trabajo surge de una problemática real referente a la recolección de aparatos electrodomésticos con fines de reciclaje. En la Unión Europea, la recolección recae en las mismas compañías fabricantes en un porcentaje proporcional al volumen de sus ventas en el mercado. Se desea crear territorios de forma tal que permitan realizar una asignación eficiente de zonas para la recolección y que a la vez satisfagan las restricciones propias del problema.

Como queda de manifiesto en Fernández et. al. (2009), la complejidad del problema (NP-duro) así como la dimensión de las instancias reales que se buscan resolver hacen de los métodos heurísticos una opción viable de solución. Estos mismos autores desarrollaron un algoritmo exacto para instancias de hasta 20 unidades básicas y un GRASP para instancias de mayor tamaño. En este trabajo se busca desarrollar una metodología que haga uso de mecanismos de memoria bajo un esquema del tipo búsqueda tabú, misma que aun se encuentra en fase de diseño.

### 2. Descripción del Problema

#### 2.1 Planteamiento

A partir del 2003 en la Unión Europea el reciclaje de los aparatos electrodomésticos es por ley obligatoria. Dentro de este esquema de reciclaje existen diversos problemas que pueden atacarse mediante las técnicas de la investigación de operaciones, en particular nos enfocamos al diseño de los territorios de recolección que se asignarán a cada compañía.

Buscamos agrupar unidades geográficas básicas en compañías o territorios que cumplan los siguientes requerimientos de planeación:

---

<sup>1</sup> Proyecto apoyado por SEP-CONACYT 48499-Y, UANL, PAICYT (CA1478-07).

- Balance respecto al número de usuarios: La normativa europea establece que cada compañía es responsable de la recolección de un porcentaje proporcional al volumen de sus ventas en el mercado medida en base el número de usuarios.
- Balance respecto a la calidad de las unidades básicas: Cada unidad básica es catalogada de acuerdo a la calidad de su infraestructura como buena, mediocre o mala. Buscamos que las compañías estén balanceados respecto al número de unidades básicas de cada tipo que le sean asignadas, nuevamente tomando en cuenta el volumen de ventas en el mercado.
- Límite de unidades divididas: Los productos que contienen sustancias anticongelantes se consideran altamente contaminantes y deben transportarse en forma separada, lo que conlleva una subdivisión de productos en dos tipos. Para respetar esta normativa ecológica se permite la división de unidades básicas, esto significa que una unidad básica puede ser asignada a distintas compañías para cada tipo de producto. Sin embargo, el número de unidades con asignación dividida no debe sobrepasar un tope máximo.
- Ley anti-monopolio: En países como Alemania y España la asignación de territorios debe cumplir con leyes anti-monopolio por lo que se busca que los puntos de recolección asignados a cada compañía se encuentren lo más alejado posible entre sí. Esto se logra incorporando una función objetivo que maximiza la dispersión territorial.

## 2.2 Descripción del Modelo

El modelo utilizado es la versión combinatoria del propuesto por Fernández et. al. (2009)

*Conjuntos y subíndices*

$V = \{1, \dots, n\} \mapsto$  Conjunto de unidades básicas (UB)

$C = \{1, \dots, m\} \mapsto$  Conjunto de compañías

$P = \{1, 2\} \mapsto$  Conjunto de tipos de productos

$Q = \{1, 2, 3\} \mapsto$  Conjunto de índices de calidad de cada UB (1 = buena, 2 = mediocre, 3 = mala)

$V^q \mapsto$  Conjunto de unidades básicas con calidad  $q, q \in Q$

$$V = V^1 \cup V^2 \cup V^3$$

*Parámetros*

$d_{ij} \mapsto$  distancia euclideana entre las UBs  $i$  y  $j$ ;  $i, j \in V$

$w_i \mapsto$  Cantidad de usuarios en la UB  $i$ ;  $i \in V$

$MS_k^p \mapsto$  Porcentaje del mercado de la compañía  $k$  respecto al producto  $p$ ;  $k \in C, p \in P$

$\tau \mapsto$  Tolerancia permitida al balanceo de número de usuarios ( $\tau \in (0,1)$ )

$\beta \mapsto$  Tolerancia permitida al balanceo de calidad de las UBs ( $\beta \in (0,1)$ )

$\sigma \mapsto$  Máximo número de UBs divididas permitidas

*Parámetros*    Calculados

$$w(\bar{V}) = \sum_{i \in \bar{V}} w_i \quad \mapsto \text{Cantidad de usuarios en } \bar{V} \quad (\bar{V} \subset V)$$

$$W = w(V) \quad \mapsto \text{Cantidad total de usuarios (en } V)$$

$$c^q(\bar{V}) = |\bar{V} \cap V^q| \quad \mapsto \text{Cardinalidad de } \bar{V} \text{ respecto a la calidad } q \text{ } (\bar{V} \subset V); q \in Q$$

*Variables*

$$X_k^p \quad \mapsto \text{Conjunto de UBs asignadas a la compañía } k \text{ respecto al producto } p; k \in C, p \in P$$

$$X_k = \bigcup_{p \in P} X_k^p \quad \mapsto \text{Conjunto de UBs asignadas a la compañía } k \text{ para al menos a un producto } p; k \in C, p \in P$$

$$X^s \quad \mapsto \text{Conjunto de UBs divididas, esto es } i \in X^s \Leftrightarrow \exists k_1, k_2 \in C, k_1 \neq k_2 \text{ tales que } i \in X_{k_1}^1 \wedge i \in X_{k_2}^2$$

*Modelo*

Encontrar  $|P|$   $m$ -particiones  $X^p = (X_1^p, X_2^p, \dots, X_m^p)$  tales que :

$$\max \min_{k \in C} \min_{i, j \in X_k} \{d_{ij}\} \quad (1)$$

sujeto a

$$\frac{1}{W} w(X_k^p) \leq (1 + \tau) MS_k^p \quad k \in C, p \in P \quad (2)$$

$$\frac{1}{W} w(X_k^p) \geq (1 - \tau) MS_k^p \quad k \in C, p \in P \quad (3)$$

$$\frac{1}{|V^q|} c^q(X_k^p) \leq (1 + \beta) MS_k^p \quad q \in Q, k \in C, p \in P \quad (4)$$

$$\frac{1}{|V^q|} c^q(X_k^p) \geq (1 - \beta) MS_k^p \quad q \in Q, k \in C, p \in P \quad (5)$$

$$|X^s| \leq \sigma \quad (6)$$

La idea central detrás de la función objetivo (1) radica en tomar la menor distancia entre las unidades básicas perteneciente a un mismo territorio, para después tomar el valor más chico de este conjunto de m distancias, siendo dicho valor el que se desea maximizar. Dado que es prácticamente imposible obtener un balance exacto de los territorios, incluimos parámetros de tolerancia  $\tau$  y  $\beta$  que permiten balancear la solución dentro de un intervalo. Las restricciones del tipo (2) y (3) son referentes al balanceo respecto al número de usuarios presentes en cada territorio. Con (4) y (5) buscamos repartir de manera equitativa las unidades básicas respecto a la calidad de la infraestructura en ellas. Nótese que en los 4 tipos de restricciones anteriores se toma en cuenta el porcentaje del mercado de la compañía. Por último la restricción (6) controla que el número de unidades básicas donde se presenta división respecto al tipo de productos no exceda de  $\sigma$ .

### 3. Método Propuesto

Se pretende desarrollar un algoritmo basado en la búsqueda tabú propuesta por Glover et. al. (1997). Hasta el momento contamos con un esquema básico similar al desarrollado por Bozcaya et. al. (2003) que incluye el uso de memoria a corto plazo y criterio de aspiración.

Contamos además con 5 tipos distintos de movimientos:

- $movA_1(i, k_2, p)$  Reasignar la UB  $i$  de la compañía donde ésta asignada actualmente a un compañía distinta  $k_2$  respecto al producto a todos los productos.
- $movA_2(i, k_2, p)$  Reasignar la UB  $i$  de la compañía donde ésta asignada actualmente a un compañía distinta  $k_2$  respecto al producto  $p$ . Se permite la división de UB.
- $movB(i, j, p_1, p_2)$  Intercambiar las UBs  $i, j$  respecto a uno o ambos tipos de productos.
- $movC_1(k_1, k_2, p)$  Intercambiar las compañías  $k_1, k_2$  respecto al producto  $p$ .
- $movC_2(k_1, k_2)$  Intercambiar las compañías  $k_1, k_2$  respecto a todos los tipos de productos.

Los tres primeros desarrollados originalmente por Fernández et. al. (2009), siendo los dos últimos parte de las aportaciones originales al desarrollo de la heurística. Actualmente estamos en proceso incluir el uso de la memoria a largo plazo, diseñar y planificar las estrategias de exploración de los distintos vecindarios. Así como realizar la implementación computacional de la heurística.

### 4. Comentarios Finales

El presente trabajo se encuentra en etapa de de implementación. Se espera para la versión final del trabajo incluir un esquema completo del algoritmo que haga uso de estrategias basadas en memoria a largo plazo así como resultados computacionales que nos permitan evaluar la calidad del método desarrollado..

### Referencias

Fernández, E., Kalcsics, J., Nickel, S. y Ríos-Mercado, R. (2008) "A Novel Territory Design Model Arising in the Implementation of the WEEE-Directive" *Technical Report PISIS-2008-03 Graduated Program in System Engineering, UANL*, San Nicolás de los Garza. NL.

Glover, F. y Laguna, M. (1997) *Tabu Search*, New York: Kluwer Academic Publisher.

Bozcaya, B., Erkut, E. y Laporte, G. (2003) "A tabu search heuristic and adaptive memory procedure for political districting" *European Journal of Operational Research*, Vol 144, No.1, 12-26.