

EFFECTO DE LOS DECODIFICADORES EN LA CALIDAD DE LA SOLUCIÓN PARA UN PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES UA-FLP

EFFECT OF THE DECODERS ON THE QUALITY OF THE SOLUTION FOR A FACILITY LAYOUT PROBLEM UA-FLP

Wilmer D. Urango^{1*}, Helman E. Hernández ²

Recibido para publicación: 7 de marzo 2017 - Aceptado para publicación: 10 de mayo 2017

RESUMEN

En este trabajo se propuso una comparación entre dos decodificadores diferentes para un problema de distribución de planta de áreas desiguales y dimensiones fijas UA-FLP; los decodificadores utilizados son el decodificador en espiral y el decodificador en abanico. Para realizar este trabajo se seleccionaron 6 instancias encontradas en la literatura y el problema se resolvió por medio de una metaheurística muy conocida en la comunidad científica como lo es el algoritmo genético básico. El objetivo principal de este estudio fue demostrar si existían diferencias en la calidad de la solución propuesta por cada uno de los decodificadores. Entre los resultados encontrados se evidenció que el decodificador en espiral ofrece mejores resultados en comparación con el decodificador en abanico, en efecto se logró demostrar que los decodificadores tienen gran influencia en la calidad de la solución para este tipo de problemas.

Palabras clave problema de distribución de instalaciones, decodificador, calidad de solución, algoritmo genético, multiobjetivo.

ABSTRACT

In this work a comparison between two different decoders was proposed for a unequal area facility layout problem UA-FLP; the decoders used are the spiral decoder and the fan decoder. To carry out this work, 6 instances found in the literature were selected and the problem was solved by means of a well-known metaheuristic in the scientific community, such as the basic genetic algorithm. The main objective of this study was to demonstrate if there were differences in the quality of the solution proposed by each of the decoders. Among the results found that the spiral decoder offers better results compared to the fan decoder, in fact it was demonstrated that the decoders have great influence on the quality of the solution for this type of problems.

Key word: Facility Layout Problem, decoder, Quality of the Solution, Genetic Algorithm, Multi-Objective.

¹ Ingeniero Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Córdoba, Montería-Colombia, Email: wurangonarvaez86@correo.unicordoba.edu.co

² Ph.D. en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Córdoba, Montería-Colombia, Email: hhernandez@correo.unicordoba.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El problema de distribución de instalaciones es conocido en la literatura por sus siglas FLP que provienen del inglés Facility Layout Problem, este problema tiene por objetivo encontrar la mejor ordenación de recursos de trabajo en un espacio delimitado de terreno, teniendo en cuenta que las estaciones no se solapen entre ellas y tampoco sobrepasen el dominio de ubicación, todo esto se realiza con el fin de optimizar ciertas variables tales como los costos y flujo de materiales (Neghabi, Eshghi and Salmani, 2014). El análisis de este problema es importante en áreas tales como la logística y la producción ya que los costos de transporte entre estaciones de trabajo representan hasta un 50% de los gastos de producción en una empresa (Paes, Pessoa and Vidal, 2017); generalmente este tipo de coste esta expresado en función de la distancia rectilínea entre cada par de estaciones multiplicada por la cantidad de materiales transportada entre ellas (Gonçalves and Resende, 2015).

El problema de distribución de instalaciones, es considerado un problema difícil de resolver incluso para sus versiones más simples como son las de áreas iguales y conjunto pequeño de estaciones de trabajo, por lo cual es catalogado como NP-HARD (Jankovits et al., 2011).

En la realidad tener estaciones de trabajo de igual área y dimensiones es un suceso poco probable, ya que dentro de las organizaciones las dimensiones de las estaciones varían con respecto a las necesidades de las mismas, por tal razón se introduce en la literatura un caso particular del FLP denotado como UA-FLP (Unequal area Facility Layout Problem) (Armour and Buffa, 1963), en este caso dado un conjunto de estaciones de trabajo existen por lo menos dos estaciones distintas tanto en área como en dimensiones y dichas dimensiones permanecen fijas, cabe resaltar que el UA-FLP es una variante más compleja que su versión inicial por lo cual también es considerado un problema NP-HARD.

Ahora, con respecto a los métodos de solución de este problema se pueden encontrar técnicas tanto exactas como aproximadas, las técnicas exactas se quedan cortas a la hora de resolver un problema real o de gran tamaño, por lo que la mejor opción actualmente es resolver este tipo de problemas por métodos aproximados (Jankovits et al., 2011). Dentro de esta categoría se encuentran los algoritmos genéticos, Genetic Algorithm (GA), siendo este uno de los mejores métodos de

resolución para el UA-FLP, esta metaheurística está inspirada en la selección natural (Eguiarte et al., 2013), en la cual aquellos individuos con las mejores cualidades genéticas tienen una gran probabilidad de reproducirse y extender sus genes en las siguientes generaciones. Este tipo de metaheurísticas ha demostrado ser eficiente a la hora de encontrar buenos resultados en un tiempo computacional aceptable (Palomo-Romero, Salas-Morera and García-Hernández, 2017).

Igualmente se pueden encontrar otras metaheurísticas tales como el Ant System (AS), el cual es una variación del problema Ant Colony Optimization (ACO) tal como lo menciona (Komarudin and Wong, 2010) en su trabajo. Este procedimiento esta basado en como las colonias de hormigas logran encontrar su alimento por medio de un rastro de feromonas que dejan a la hora de explorar el terreno, la intensidad de esta feromona es inversamente proporcional a la distancia recorrida por la hormiga exploradora, por lo que el grupo recolector de hormigas sabrá por donde caminar (rastros de feromonas más intenso y camino más corto) para alcanzar su objetivo (McKendall and Shang, 2006).

Desde otro punto de vista se puede evidenciar el método Simulated Annealing (SA) o recocido simulado, este procedimiento estocástico que simula el recocido de los sólidos. Trabajos como los de Şahin (2011) demuestran que este tipo de metaheurísticas proporcionan excelentes resultados para un UA-FLP, cabe resaltar que este tipo de metodología fue utilizada por primera vez por (Kirkpatrick, Gelatt and Vecchi, 1983).

Además de los métodos ya mencionados, también se pueden encontrar procedimientos más recientes como el algoritmo tabú (Tabú Search, TS), que es un algoritmo que también genera resultados aceptables, un claro ejemplo de esto es el trabajo de Scholz et al. (2009) el cual alcanzo buenos resultados utilizando un decodificador de árbol de corte que es uno de los más utilizados en este tipo de problemas.

Finalmente en la categoría de métodos aproximados se encuentran los algoritmos híbridos, que son la combinación de dos o más métodos de solución que intenta unir las mejores características de cada metaheurística para así crear un nuevo proceso más confiable y más eficiente, tal como lo muestra Paes, Pessoa and Vidal (2017) en donde combina un algoritmo genético básico y un algoritmo genético con fases de deconstrucción y reconstrucción para alcanzar

buenos resultados para instancias relativamente grandes.

Por tanto, queda claro que hasta el momento un estudio relacionado específicamente con la influencia de los decodificadores en la calidad de la solución no existe (Neghabi, Eshghi and Salmani, 2014), lo que motiva el presente trabajo de investigación.

Dichos decodificadores se pueden evidenciar en la literatura como los procedimientos de ubicación espacial de las estaciones de trabajo, entre los cuales tenemos arboles de corte, ubicación desde esquinas (Moreno et al., 2014) y curvas de llenado de espacios (Moreno et al., 2014) entre otros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo matemático utilizado para llevar a cabo este estudio fue planteado por Moreno et al.(2014), en el cual propone una función multiobjetivo que contiene el costo de manejo de materiales y las relaciones de cercanía existentes entre cada par de estaciones.

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} * c_{i,j} * f_{i,j} \quad (1)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} * REL_{i,j} \quad (2)$$

$$FO = \min Z = \alpha \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} * c_{i,j} * f_{i,j} \right) + (1 - \alpha) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} * REL_{i,j} \right) \quad (3)$$

Donde:

$REL_{i,j}$: Representa la relación lógica entre las estaciones ij.

i y j : representan el conjunto de estaciones; n es el número de estaciones a ubicar

$d_{i,j}$: representa la distancia rectilínea entre los centroides de la estación i y la estación j;

$f_{i,j}$: representa la cantidad de flujo de materiales entre las estaciones i y j;

$c_{i,j}$: representa el costo unitario por unidad de distancia por cantidad de flujo entre la estación i y la estación j.

Sujeta a las restricciones de distancia:

$$dx_{i,j} \geq X_i + \left(\frac{(1-p_i) * w_i + p_i * h_i}{2} \right) - X_j - \left(\frac{(1-p_j) * w_j + p_j * h_j}{2} \right) \quad (5)$$

$$dx_{i,j} \geq X_j + \left(\frac{(1-p_j) * w_j + p_j * h_j}{2} \right) - X_i - \left(\frac{(1-p_i) * w_i + p_i * h_i}{2} \right) \quad (6)$$

$$dy_{i,j} \geq Y_i + \left(\frac{(1-p_i) * h_i + p_i * w_i}{2} \right) - Y_j - \left(\frac{(1-p_j) * h_j + p_j * w_j}{2} \right) \quad (7)$$

$$dy_{i,j} \geq Y_j + \left(\frac{(1-p_j) * h_j + p_j * w_j}{2} \right) - Y_i - \left(\frac{(1-p_i) * h_i + p_i * w_i}{2} \right) \quad (8)$$

$$d_{i,j} = dx_{i,j} + dy_{i,j} \quad (9)$$

Donde:

h_i : es el alto de la estación i.

p_j : variable binaria. Toma el valor de 0 cuando la dimensión en x de la estación i es igual al ancho y el valor de 1 cuando la dimensión en x de la estación i es igual al alto .

$dx_{i,j}$: es la distancia horizontal que existe entre los centroides de las estaciones i y j.

$dy_{i,j}$:es la distancia vertical que existe entre los centroides de las estaciones i y j.

X_i : es la coordenada en X del punto inferior izquierdo de la estación i.

Y_i :es la coordenada en Y del punto inferior izquierdo de la estación i.

Y a las restricciones de solapamiento:

$$B * L_{i,j} \leq X_i - X_j - (1 - p_j) * w_j - (p_j) * h_j \quad \forall i \neq j \quad (10)$$

$$B * M_{i,j} \leq Y_i - Y_j - (1 - p_j) * h_j - (p_j) * w_j \quad \forall i \neq j \quad (11)$$

$$B * Q_{i,j} \leq X_j - X_i - (1 - p_i) * w_i - (p_i) * h_i \quad \forall i \neq j \quad (12)$$

$$B * T_{i,j} \leq Y_j - Y_i - (1 - p_i) * h_i - (p_i) * w_i \quad \forall i \neq j \quad (13)$$

$$L_{i,j} + M_{i,j} + Q_{i,j} + T_{i,j} \geq 1 \quad \forall i \neq j \quad (14)$$

Donde:

B: es una constante muy grande y es igual a la sumatoria del máximo entre el ancho y el alto de las estaciones.

$L_{i,j}$: variable binaria que toma el valor de 1 cuando la instalación i está a la derecha de la instalación j y 0 en caso contrario.

$M_{i,j}$: variable binaria que toma el valor de 1 cuando la instalación i está por encima de la instalación j y 0 en caso contrario.

$Q_{i,j}$: variable binaria que toma el valor de 1 cuando la instalación i está a la izquierda de la instalación j y 0 en caso contrario.

$T_{i,j}$: variable binaria que toma el valor de 1 cuando la instalación i está por debajo de la instalación j y 0 en caso contrario.

2.2. Decodificadores

El primer decodificador fue nombrado decodificador en espiral ya que este es capaz de simular este tipo de figura, ahora para llevar a cabo este proceso se selecciona la primera estación de trabajo y se coloca en el centro del dominio de ubicación y resto se ubicada de tal manera que rodea a la estación ya colocada en forma de espiral. El proceso que lleva a cabo este método se muestra a detalle en el grafico1. Cabe resaltar que para hallar la población mediante este procedimiento es necesario utilizar todo el diagrama de flujo del grafico 1 exceptuando el recuadro violeta; el recuadro rojo

es el que identifica y almacena solo individuos factibles, esto se hace ya que la población inicial requerida debe ser completamente factible. Ahora cuando ya se halla encontrado la población inicial completamente factible, ya el recuadro rojo no será

necesario ya que el algoritmo genético propuesto tiene la inteligencia suficiente de eliminar o no tener en cuenta soluciones no factibles, por lo cual el recuadro rojo queda redundando, en este caso se activaría el recuadro violeta.

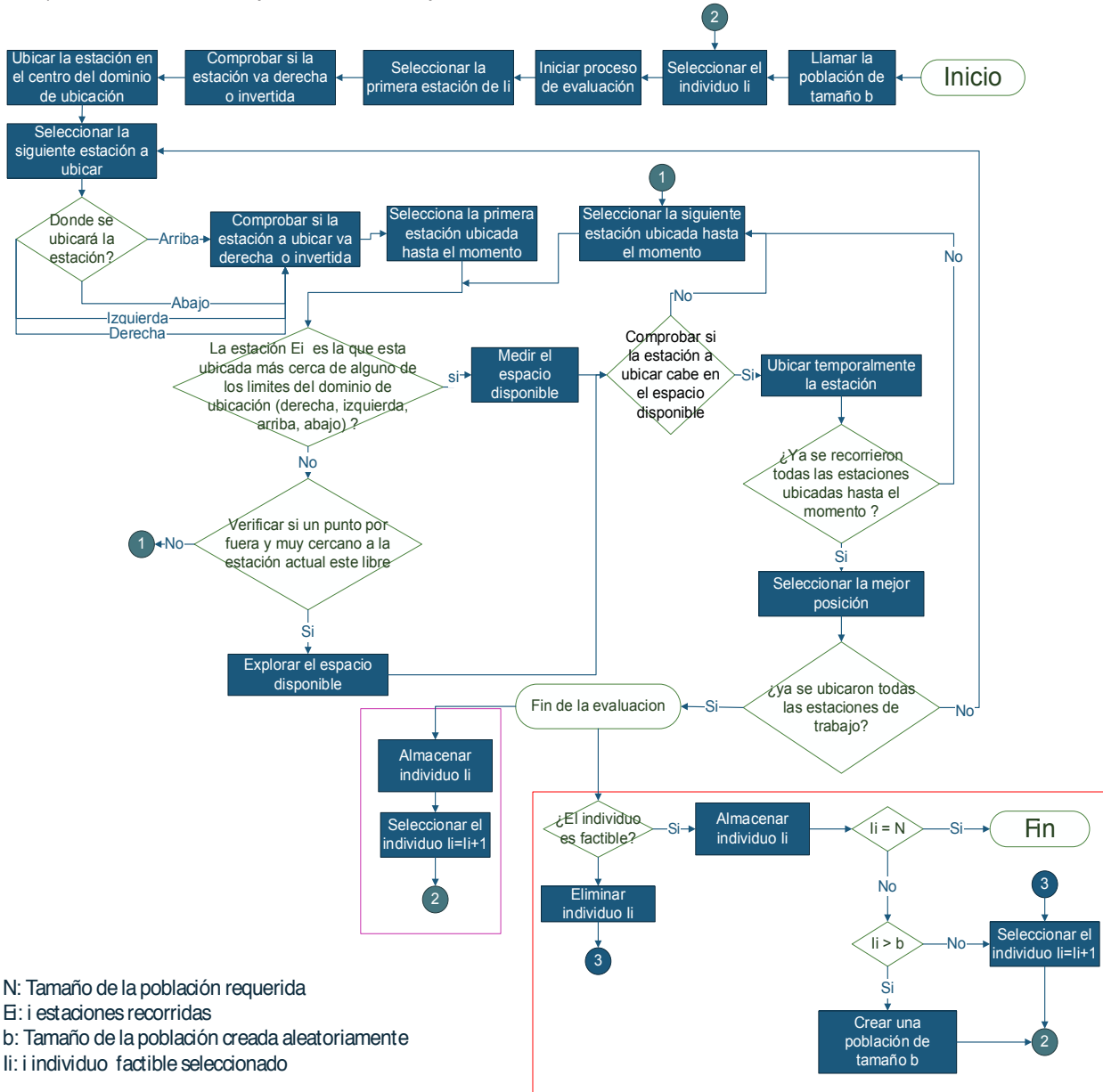


Grafico 1. Decodificador en Espiral

Por otro lado, se propone un segundo decodificador, este ubica la primera estación de trabajo en la esquina inferior izquierda del dominio de ubicación y con respecto a esta va ubicando el resto de estaciones en forma de abanico, lo que origina su nombre. Cabe resaltar que este último

procedimiento de ubicación espacial es un caso particular del primer decodificador, por lo cual tiene un comportamiento parecido a la hora de realizar la evaluación de los datos, su proceso detallado se muestra en el grafico 2.

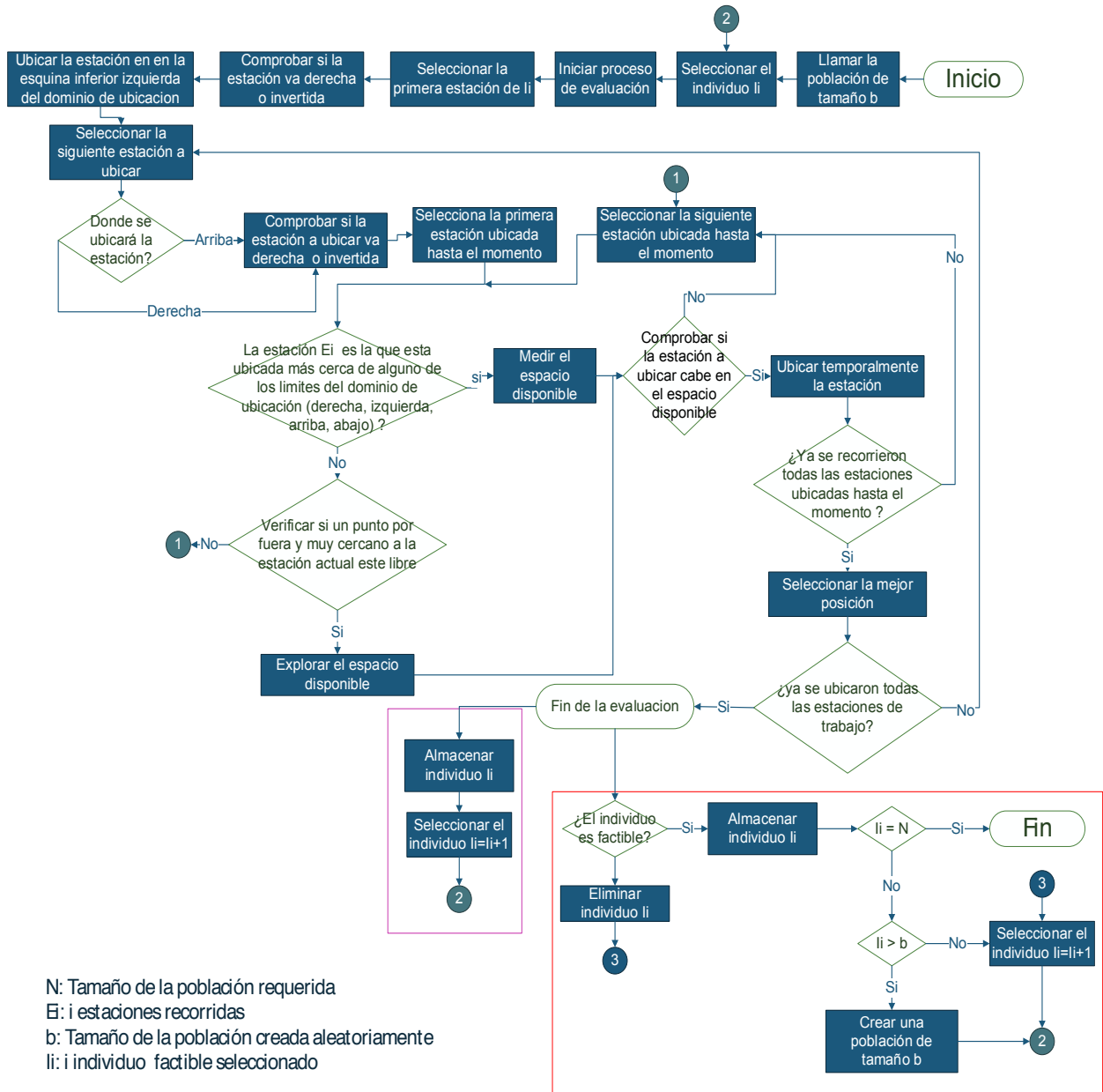


grafico 2. Decodificador en Abanico

2.3 Instancias

Para llevar a cabo el estudio se escogieron 6 instancias encontradas en la literatura, las cuales varían entre las 15 y 49 estaciones de trabajo. Debido a que en la literatura aún no se encuentran instancias que utilicen al mismo tiempo las funciones analizadas en este trabajo, los datos faltantes fueron generados con una distribución uniforme por los autores de este trabajo. Las instancias seleccionadas se muestran en la tabla 1 con sus respectivas referencias.

tabla 1. Instancias

Nombre Instancia	Tamaño	Fuente
1(18)	18	(Xu and Papa-georgiou, 2008)
2(36)	36	
3(33)	33	
4(49)	49	MNCN Benchmark Problems
5(40)	40	(Chiang, 2017)
6(15)	15	

2.4 Experimentos computacionales

Inicialmente se calcularon los parámetros que equilibran las funciones objetivo, es decir se encontró un factor de normalización que permita una optimización equilibrada de las dos funciones objetivo. Para ello se escogió uno de los decodificadores aleatoriamente y se realizaron dos replicas por cada instancia con un valor de alpha de 0.5, luego se hallaron los factores que igualaran las dos funciones objetivo, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

tabla 2. Parámetros de normalización

INSTANCIA	A1	A2
1(18)	3,71378281	1
2(36)	168,560735	1
3(33)	90,6121043	1
4(49)	101,311594	1
5(40)	1	5,5181107
6(15)	1	5,53411589

A1 representa el factor por el cual se multiplicó la función objetivo 1 (F1) y A2 es el factor por el cual se multiplicó la función objetivo 2 (F2).

Posteriormente a este procedimiento se realizó el experimento computacional, con dos réplicas de 30 minutos cada una, por cada instancia variando el valor de alpha entre cero y uno en una proporción de 0.05; esto se realizó para cada decodificador.

Este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda del programa MATLAB R2015-B y se ejecutó en una computadora con procesador Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1225 v5, de 8GB RAM y sistema operativo Windows 10 Pro de 64 bits.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el experimento, con respecto al desempeño de los decodificadores estudiados se muestra en tabla 3.

Tabla 3. Mejores resultados ofrecidos por cada decodificador

Instancia	Alpha	Decodificador en espiral	Alpha	Decodificador en abanico	Mejor z	Diferencia
1(18)	1	108263,1	1	111327,15	108263,1	3064,05
2(36)	1	1989357,765	1	2271522,136	1989357,765	282164,3716
3(33)	1	8650002,744	0,9	9215075,695	8650002,744	565072,9512
4(49)	1	53455655,81	0,55	56722793,42	53455655,81	3267137,609
5(40)	1	177518744,4	0,95	186110338	177518744,4	8591593,571
6(15)	0,95	14340131,95	1	14998091,61	14340131,95	657959,6631

En la tabla anterior se logra observar cada una de las instancias con los mejores valores ofrecidos por cada decodificador y sus respectivos factores de ponderación alpha.

Luego de analizar cada uno de estos resultados se puede observar que el decodificador en espiral ofrece mejores resultados en cada una de las instancias propuestas, este hecho confirma la hipótesis de que los decodificadores tienen

gran influencia en la calidad de la solución para el problema de distribución de instalaciones de áreas desiguales y dimensiones fijas.

Estos resultados pueden observarse de manera gráfica, en el grafico 3, el cual se muestran las distribuciones ofrecidas para cada instancia mostradas en la tabla 3.

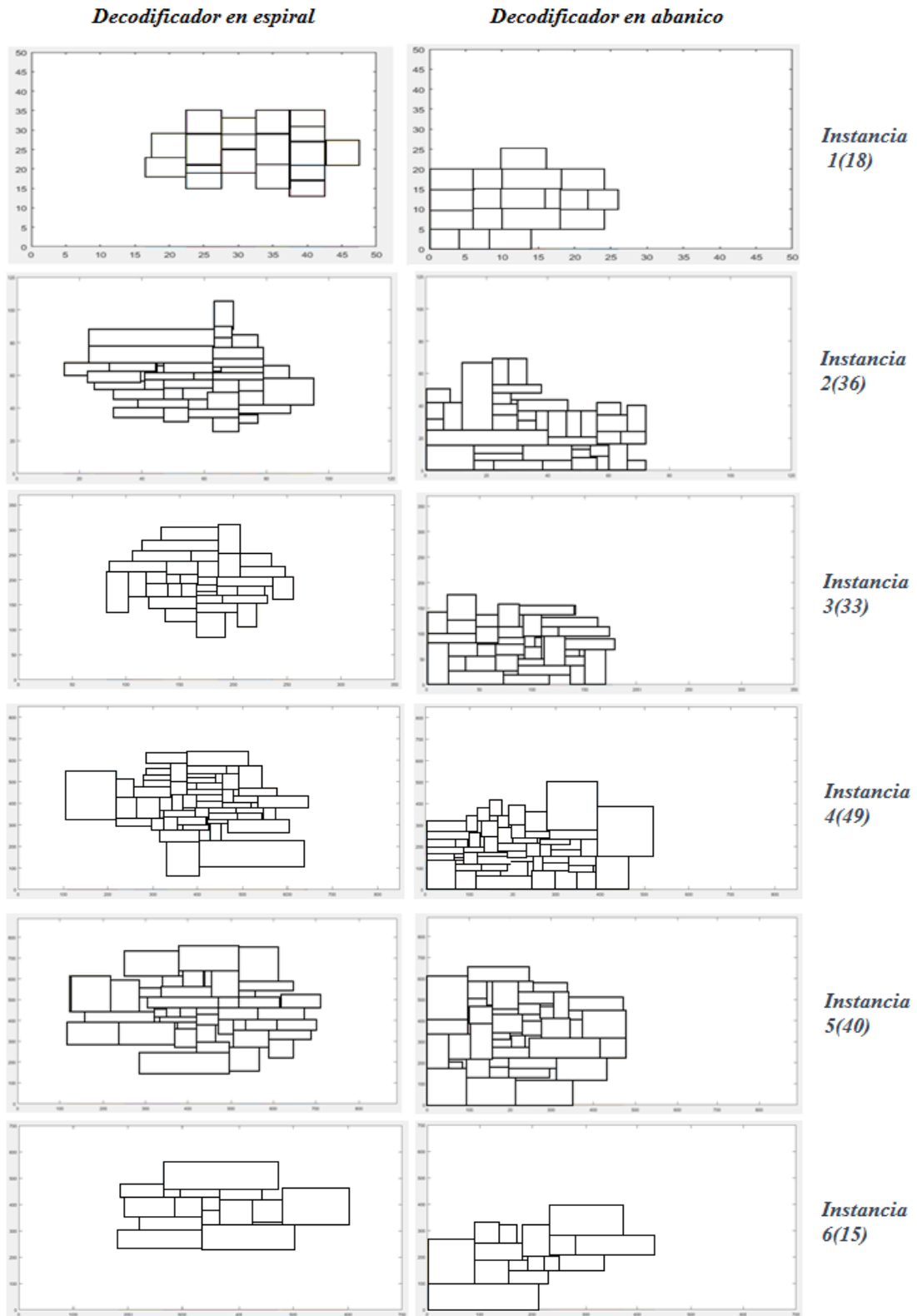


Grafico 3.

4. CONCLUSIONES

Como ya se había mencionado, hasta el momento en la literatura no hay un estudio que haya demostrado la importancia de los decodificadores a la hora de resolver un problema de distribución de instalaciones de áreas desiguales y dimensiones fijas, la mayoría de los autores solo se han enfocado en mejorar los métodos de solución y en realizar variaciones a la formulación matemática del mismo, por tal motivo se presentó este trabajo, el cual aporta evidencia en favor de la hipótesis de que los decodificadores tiene una gran importancia a la hora de resolver estos problemas. Para ello se compararon dos decodificadores, obteniendo que el decodificador en espiral alcanzó soluciones de mejor calidad para cada una de las instancias.

REFERENCIAS

- [1]. Armour, G. C. and Buffa, E. S. (1963) 'A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Location of Facilities', *Management Science*, 9(2), pp. 294–309. doi: 10.1287/mnsc.9.2.294.
- [2]. Chiang, W. (2017) 'Visual facility layout design system', 7543(October). doi: 10.1080/00207540110035192.
- [3]. Eguiarte, L. E. *et al.* (2013) 'b l', *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. Elsevier, 16(1), pp. 42–56. doi: 10.1016/S1405-888X(13)72077-1.
- [4]. Gonçalves, J. F. and Resende, M. G. C. (2015) 'A biased random-key genetic algorithm for the unequal area facility layout problem', *European Journal of Operational Research*, 246(1), pp. 86–107. doi: 10.1016/j.ejor.2015.04.029.
- [5]. Jankovits, I. *et al.* (2011) 'A convex optimisation framework for the unequal-areas facility layout problem', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 214(2), pp. 199–215. doi: 10.1016/j.ejor.2011.04.013.
- [6]. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P. (1983) 'Optimization by Simulated Annealing', *Science*, 220(4598), pp. 671–680. doi: 10.1126/science.220.4598.671.
- [7]. Komarudin and Wong, K. Y. (2010) 'Applying Ant System for solving Unequal Area Facility Layout Problems', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 202(3), pp. 730–746. doi: 10.1016/j.ejor.2009.06.016.
- [8]. McKendall, A. R. and Shang, J. (2006) 'Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem', *Computers and Operations Research*, 33(3), pp. 790–803. doi: 10.1016/j.cor.2004.08.008.
- [9]. Moreno, A. D. *et al.* (2014) 'Optimización multiobjetivo del problema de distribución de planta: Un nuevo modelo matemático', *Revista Ingeniería y Competitividad*, 16(2), pp. 247–267.
- [10]. Neghabi, H., Eshghi, K. and Salmani, M. H. (2014) 'A new model for robust facility layout problem', *Information Sciences*. Elsevier Inc., 278, pp. 498–509. doi: 10.1016/j.ins.2014.03.067.
- [11]. Paes, F. G., Pessoa, A. A. and Vidal, T. (2017) 'A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the Unequal Area Facility Layout Problem', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 256(3), pp. 742–756. doi: 10.1016/j.ejor.2016.07.022.
- [12]. Palomo-Romero, J. M., Salas-Morera, L. and García-Hernández, L. (2017) 'An island model genetic algorithm for unequal area facility layout problems', *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 68, pp. 151–162. doi: 10.1016/j.eswa.2016.10.004.
- [13]. Şahin, R. (2011) 'A simulated annealing algorithm for solving the bi-objective facility layout problem', *Expert Systems with Applications*, 38(4), pp. 4460–4465. doi: 10.1016/j.eswa.2010.09.117.
- [14]. Xu, G. and Papageorgiou, L. G. (2008) 'Chemical Engineering Research and Design Process plant layout using an improvement-type algorithm', 7(December), pp. 780–788. doi: 10.1016/j.cherd.2008.12.004.
- [15]. MNCN Benchmark Problems