46

Fecha de presentación: octubre, 2021
Fecha de aceptación: diciembre, 2021
Fecha de publicación: febrero, 2022

PROPUESTA DE MODELO

HEURÍSTICO MATEMÁTICO PARA CARGA BALANCEADA DE CONTENEDORES EN LA DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS

PROPOSAL FOR A MATHEMATICAL HEURISTIC MODEL FOR BALANCED LOADING OF CONTAINERS IN THE DISTRIBUTION OF GOODS

Azael Rajadel Valdés[1]
E-mail: azael@tsp.gob.cu
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3955-5105
Manuel E. Cortés Cortés[2]
E-mail: mcortes@ucf.edu.cu
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9903-3907
Manuel Cortés Iglesias[2]
E-mail: mcigesias@ucf.edu.cu
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4517-9820
Jorge Luis León González[2]
E-mail: jlleon@ucf.edu.cu
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2092-4924
[1] Tribunal Provincial de Cienfuegos. Cuba.
[2] Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rajadel Valdés, A., Cortés Cortés, M. E., Cortés Iglesias, M., & León González, J. L. (2022). Propuesta de modelo heurístico matemático para Carga Balanceada de Contenedores en la distribución de mercancías. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 438-444.

RESUMEN

El presente trabajo da una propuesta de un modelo heurístico matemático que se pueden aplicar a los problemas asociados a la carga de contenedores en la distribución de mercancías en un sistema productivo. Se analizan diferentes procesos para resolver el problema, entre ellos: métodos heurísticos, métodos basados en construcción de bloque, el enfoque de construcción de muros y los modelos matemáticos para carga de contenedores. Se plantea como objetivo del trabajo proponer el modelo matemático heurístico híbrido para Carga Balanceada de Contenedores en la distribución de mercancías con un enfoque orientado a la construcción de muros en el Sistema Aplicado. Finalmente se presentan los resultados de un problema práctico en una empresa productiva.

Palabras clave: Modelo Matemático Heurístico, carga por contenedores, aplicaciones.

ABSTRACT

The present work gives a proposal for a mathematical heuristic model that can be applied to the problems associated with the loading of containers in the distribution of goods in a productive system. Different processes are analyzed to solve the problem, among them: heuristic methods, methods based on block construction, the wall construction approach and mathematical models for container loading. The objective of the work is to propose the hybrid heuristic mathematical model for Balanced Loading of Containers in the distribution of goods with an approach oriented to the construction of walls in the Applied System. Finally, the results of a practical problem in a productive company are presented.

Keyword: Heuristic Mathematical model, container loading, applications.

INTRODUCCIÓN

Una construcción matemática abstracta y simplificada, que utiliza ecuaciones, funciones o fórmulas para representar la relación entre diferentes tipos de variables, parámetros y restricciones, que se relaciona con una parte de la realidad y se crea para un propósito particular, llegando a predecir el valor de las variables, plantearse hipótesis, obtener valores óptimos entre otros. Un Modelo Matemático Heurístico es el modelo matemático que se deriva de métodos empíricos que por lo general dan solución al problema planteado, aunque no siempre dan una respuesta óptima. Estos modelos representan una herramienta importante que desarrolla la generación del conocimiento.

El problema de carga de un único contenedor (SCLP por sus siglas en inglés) es una de las muchas variantes de problemas de corte y embalaje en la investigación de las operaciones; para el lector interesado, hacemos referencia a Dyckhoff & Finke (1992); y Shindin, et al. (2018), donde se ofrece un estudio detallado sobre el tema. Este problema, además, es extensible a camiones, vagones de carga, etc.; por lo que en lo adelante nos referiremos a todos ellos con el término contenedores.

La utilización del volumen es el objetivo primario y más frecuente para muchos problemas de carga de contenedores del mundo real; un embalaje de gran densidad puede resultar en el menos uso de vehículos con contenedores, que también tiene un efecto biológicamente beneficioso para las emisiones de carbono. Otras restricciones, como la estabilidad de carga, cargas multi-drop, distribución del peso y facilidad de recuperación también se considera a menudo en aplicaciones específicas (Bischoff, 2006, Bischoff & Ratcliff, 1995; Ratcliff & Bischoff, 1998). Una generalización útil del SCLP es considerar múltiples recipientes de diferentes tipos y costes, donde el objetivo es cargar todas las cajas de manera que el total de coste de los contenedores se reduce al mínimo; esto puede ser considerado una generalización tridimensional del problema de embalaje que ha sido examinada por Che, et al. (2011).

Si bien es cierto que existe una amplia gama de algoritmos y enfoques para enfrentar este problema, muchas veces no se hace énfasis en el balance de la carga, lo que hace que en no pocas ocasiones, la solución alcanzada no sea aplicable para diversos medios de transporte, surgiendo la necesidad de enfrentar esta problemática dando un mayor peso a esta restricción.

Cuba, no está al margen de la problemática logística planteada. A partir de investigaciones preliminares, basadas en entrevistas y encuestas, se ha podido comprobar, que el proceso de carga de contenedores en nuestro país, ocurre de manera empírica, dejando solo a la experiencia y “comodidad” de los encargados, el posicionamiento de la mercancía dentro de los contenedores. Estos encargados no tienen conocimientos de estrategias de posicionamiento, que le permitan hacer un mejor uso del espacio interior de carga.

Se plantea como objetivo del trabajo proponer el modelo matemático heurístico híbrido para Carga Balanceada de Contenedores en la distribución de mercancías con un enfoque orientado a la construcción de muros en el Sistema Aplicado.

DESARROLLO

Los modelos matemáticos heurísticos son aplicados a múltiples ejemplos en la vida económica y productiva de un país, un caso muy útil en la solución de estos modelos lo constituyen la carga de mercancías por contenedores, tema éste que representa el objeto de nuestro estudio.

El proceso heurístico utilizado para la carga heterogénea de mercancía en contenedores propicia el uso deficiente del espacio interior de carga, así como problemas de seguridad al no estar correctamente distribuido el peso de la misma.

Es posible clasificar los algoritmos existentes para SCLP en tres clases:

- Método Constructivo, que genera soluciones mediante la carga de cajas en repetidas ocasiones en el recipiente, hasta que ya no se puedan colocar más cajas. Dividir y conquistar, este método divide el recipiente en sub contenedores, para luego recursivamente resolver el problema menor resultante antes de recombinarlo en una solución completa; ejemplos incluyen (Chien & Wu, 1998; Lin, et al., 2002). Finalmente, métodos de búsqueda local, los cuales comienzan con una solución existente, luego aplican repetidamente operadores locales para generar nuevas soluciones; ejemplos incluyen (Gehring, 1997; Parreño, et al., 2010).
- Métodos basados en construcción de bloque. Un bloque es un subconjunto de cajas que se colocan de forma compacta dentro de su delimitador mínimo cuboidal, los cuales se crean luego de ver el espacio residual del contenedor. Cada paso en la construcción de la solución implica la colocación de un bloque en un espacio libre del contenedor. Esto se repite hasta que no haya más bloques que quepan en el contenedor. La ventaja de estos métodos es que van creando varias soluciones y estas soluciones se van mejorando con el transcurso del tiempo hasta llegar a un óptimo local.

Los métodos de construcción de bloques incluyen los algoritmos desarrollados por Eley (2002); Lin, et al. (2002); Bortfeldt & Gehring (2003); Mack, et al. (2004). Los métodos recientes más exitosos para SCLP en los casos de prueba estándar han sido enfoques basados en construcción de bloques. Parreño ,et al. (2010), plantean un algoritmo de espacios maximales que utiliza una búsqueda GRASP en dos fases.

- El enfoque de construcción de muros (Ratcliff & Bischoff, 1998; Bortfeldt & Gehring, 2001) es el foco de este estudio, donde el contenedor es llenado por capas verticales (llamadas muros o paredes). También existen acercamientos de construcción de capas (Bischoff & Ratcliff, 1995), (Terno, et al., 2000), donde el contenedor se llena desde la parte inferior usando capas horizontales. Tanto los muros como las capas horizontales pueden verse como tipos especiales de bloques, por lo que estos enfoques también pueden ser considerados como enfoques basados en construcción de bloques. Todas estas técnicas generan bloques sólo cuando la combinación de cajas contenidas dentro se considera conveniente por alguna medida de calidad (por ejemplo, si el volumen total de las cajas cubre como mínimo el 98% de todo el volumen del bloque).

A partir de dimensiones interiores conocidas y la tara de un modelo de contenedor y una lista de piezas y sus cantidades, se desea ubicar cada una de ellas en su interior, de manera que se maximice el volumen utilizado y en consecuencia se minimice la cantidad de contenedores necesarios para la transportación. De las piezas se conocen sus dimensiones, pesos, material del embalaje, si es posible rotarla y/o girarla para su colocación y su fragilidad, o lo que es lo mismo, si es posible colocar otras piezas sobre ella.

En caso de que se pueda colocar una pieza sobre otra, la pieza del nivel superior no deberá sobrepasar las dimensiones de largo y ancho de la pieza sobre la cual se coloca. Igualmente se desea que la distribución de la carga quede de forma balanceada para evitar accidentes a partir del tipo de transporte utilizado en la logística.

Una formulación matemática de este problema se puede expresar de la siguiente manera:

Sean l, w, h funciones que devuelven las dimensiones de un contenedor en forma de ortoedro. La función objetivo estará dada por el máximo volumen permisible en el contenedor (F1) :

$$Z = Max \sum_{i=0}^{n} p_i * V(c_i) \quad \text{(F1)}$$

Donde (F2): $V(c_i) = l(c_i) * w(c_i) * h(c_i)$ (F2) corresponde al volumen de una caja .

P_i: Variable booleana que indica si la caja se coloca, o no, en el contenedor.

l, w y h: Son asociados a las dimensiones de la caja i.

Esta función estará sujeta a varias restricciones:

1. **Restricción espacial:** Sea el espacio residual donde se colocará la caja . Deberá cumplirse que (F3, 4 y5 5):

$$l(E_R) \geq l(C_i) \quad \text{(F3)}$$
$$w(E_R) \geq w(C_i) \quad \text{(F4)}$$
$$h(E_R) \geq h(C_i) \quad \text{(F5)}$$

La interpretación de estas restricciones es que las dimensiones de la caja no pueden sobrepasar el espacio destinado para colocarla.

2. **Restricción de peso:** Sean P la función que devuelve el peso de la caja y T la tara (peso máximo permitido de la carga) del contenedor. Deberá cumplirse que (F6):

$$\sum_{i=0}^{n} p_i * P(c_i) \quad \text{(F6)}$$

La interpretación de esta restricción es que el peso total de la carga colocada en el contenedor tiene que ser menor que el peso máximo establecido.

3. **Restricción de apilamiento:** Sea A una función binaria que determina si sobre la pieza puede colocarse un nuevo grupo de piezas. Deberá cumplirse que (F7):

$$A(C_i) = 1 \quad \text{(F7)}$$

La interpretación de estas restricciones es que sobre la pieza puede colocarse un nivel superior de apilamiento si la función binaria tiene un valor unitario.

4. **Restricción de embalaje:** Sea M la función que devuelve un valor entero positivo asociado a la dureza del material de embalaje y B la superficie sobre la cual se desea colocar la pieza. Debe cumplirse que (F8):

$$M(B) \geq M(C_i) \quad \text{(F8)}$$

La interpretación de esta restricción es que la consistencia del material de la base donde se colocará la pieza tiene que ser mayor o igual al de la pieza en sí.

5. **Restricción de manipulación de la carga:** Sea R una función binaria que determina si la carga puede ser rotada (manteniendo un eje vertical) para su ubicación. Sea G una función binaria que determina si la carga puede ser girada (manteniendo un eje

horizontal) para su ubicación. Deberá cumplirse que (F9 y 10):

$$R(C_i) = 1 \text{ (F9)}$$
$$G(C_i) = 1 \text{ (F10)}$$

La interpretación de estas restricciones es que la pieza podrá rotarse y/o girarse en busca de una mejor ubicación si las funciones binarias tienen un valor unitario.

6. **Restricción de balance de carga:** Sean y los ejes vertical y horizontal del plano del contenedor paralelo al suelo tomando el punto medio de las dimensiones del contenedor como muestra la figura 1.

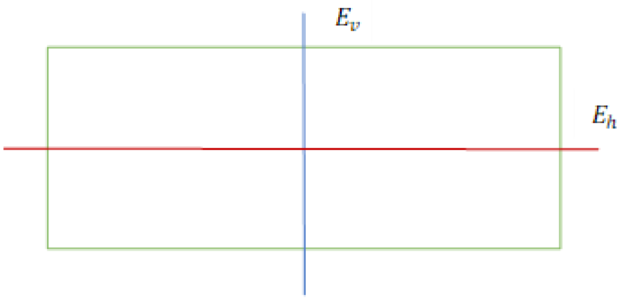

Figura 1.Planos del Contenedor.

Cada eje divide al contenedor en dos espacios que llamaremos y , y respectivamente. Debe cumplirse que (F11):

$$1-\propto \leq \frac{\sum_{i=0}^{n} MC(c_i,E_h,H_1)}{\sum_{i=0}^{n} MC(c_i,E_h,H_2)} \leq 1+\propto \text{ (F11)}$$

$$1-\propto \leq \frac{\sum_{i=0}^{n} MC(c_i,E_v,V_1)}{\sum_{i=0}^{n} MC(c_i,E_v,V_2)} \leq 1+\propto$$

Donde $MC(c_i,E_h,H_1)$ es la función de momento de carga, calculada como la distancia desde el centro de masa de la porción (o totalidad) de la pieza contenida en el plano H_i al eje E_h por el peso proporcional contenido de la pieza. De manera equivalente se define para el eje vertical.

La interpretación de esta restricción es que la distribución de la carga dentro del contenedor deberá estar balanceada una vez se concluya el proceso de ubicación. El valor unitario es cuando la carga está idealmente balanceada. El valor de se utiliza para definir una tolerancia de desbalance.

Se aplicó el modelo matemático del algoritmo heurístico híbrido (heurístico-exploratorio) de balance de carga con un método programado enfocado a la construcción de muros. Se seleccionó la heurística de creación de muros alternando hacia el fondo y el frente del contenedor, maximizando el volumen ocupado por cada franja de muro. Una vez construido el muro se reacomodan las cargas de manera que las pilas más pesadas se van colocando de los extremos hacia el centro, mientras que para la selección de las piezas se realizó un análisis exploratorio, seleccionando las franjas que mayor volumen ocupaban. A continuación, se expone el problema y los resultados alcanzados.

Se aplica el modelo a una empresa encargada de la transportación marítima de piezas de contenedores que necesita embarcar las piezas que se dan en el siguiente listado. Se utilizan contenedores Maersk 40' Standard de 2350, 12032 y 2393 mm de frente, fondo y alto respectivamente. La capacidad real de carga es 26480 kg.

La tabla 1 da los atributos de las piezas:

Tabla 1. Descripción de las piezas.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	FONDO	FRENTE	ALTO	PESO	UND	FORMA DE CARGA	ROTAR	ENCIMA	TIP
36YT300_1	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_1	3.910	1.060	2.070	1.042	4	Manual	Si	Si	Cartón
36YT300_2	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_2	1.220	810	750	250	4	Manual	Si	Si	Cartón
36YT400	KIT C.FRONTAL C/LUMS. FLEX5 US	3.930	630	1.030	360	0	Manual	Si	Si	Cartón
36YU000	KIT LAVA-RUE.DISC.AP FLEX5 US	1.220	810	750	350	0	Manual	Si	Si	Cartón
36YT500	KIT SUPLEMENTOS FLEX5 US	1.300	1.140	720	400	0	Manual	Si	Si	Cartón
36DJ900	KIT CONEXIÓN PUERTAS FLEX5 US	650	320	260	20	2	Manual	Si	Si	Cartón
36DK700	KIT DEPOSITO AGUA FLEX5 US	730	370	1.190	25	4	Manual	Si	Si	Cartón
36YU500	KIT R.Q. LATERALES FLEX5 US	1.320	590	290	25	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU400	KIT R.Q. SUPERIOR FLEX5 US	1.320	590	290	25	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU100	KIT AP.LAT.OSCILANTE FLEX5 US	2.450	800	570	100	1	Manual	Si	Si	Cartón

36DK000	KIT ELECTROB. 11KW FLEX5 US	1.750	720	1.350	420	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK100	KIT ELECTROB. 16,5KW FLEX5 US	1.750	720	1.740	535	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK200	KIT LATIGUILLO 3/8" FLEX5 US	480	200	230	15	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK300	KIT MANGUERAS AP FLEX5 US	800	600	515	30	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK400	KIT PROLONGADOR 3M FLEX5 US	420	180	475	15	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK500	KIT PROLONGADOR 6M FLEX5 US	660	560	245	30	1	Manual	Si	Si	Cartón
36DK600	KIT BOTONERA EXT. FLEX5 US	450	225	500	15	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU800	KIT SECADO LATERAL FLEX5 US	2.450	800	1.100	250	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU700_1	KIT SEC.SUP.+AP COPI.FLEX5 US_1	3.200	1.400	1.940	900	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU700_2	KIT SEC.SUP.+AP COPI.FLEX5 US_2	1.220	810	750	250	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU200_1	KIT AP SUP.GIRATORIA FLEX5 US_1	2.830	1.260	2.080	1.050	1	Manual	Si	Si	Cartón
36YU200_2	KIT AP SUP.GIRATORIA FLEX5 US_2	1.220	810	750	250	1	Manual	Si	Si	Cartón
36EA300	KIT AP SUP.OSCILANTE FLEX5 US	1.220	810	750	300	1	Manual	Si	Si	Cartón
36EJ100	KIT CARENADO 3 CEP. FLEX5 US	2.820	811	2.004	300	1	Manual	Si	Si	Cartón
36EJ200	KIT LUMINOSOS PUERTAS	780	340	340	300	1	Manual	Si	Si	Cartón
36HF200	KIT DISTRIB. 3 VIAS FLEX5 US	650	320	260	300	1	Manual	Si	Si	Cartón
36HL500	KIT AP. LATERAL FIJA FLEX5 US	2.450	800	570	300	1	Manual	Si	Si	Cartón

Los resultados después del proceso de ubicación de la carga mediante el modelo heurístico matemático aplicado es el siguiente (Tablas 2, 3 y 4):

Tabla 2. Resultados del Modelo Matemático.

ID	Descripción	Cantidad de Piezas (und)	Superficie Planta (m²)	Volumen Planta (m³)	Peso Total (Kg)
1	Maersk 40' Standard	29	20,40	40,06	6.864
2	Maersk 40' Standard	5	16,34	30,86	3.854

Tabla 3. Ubicación de las piezas por contenedor es Maersk 40' Standard (29 Piezas).

Item	Referencia	Descripción	N° de Fila	N° de Nivel
1	36YT300_1	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_1	1	1
2	36YU500	KIT R.Q. LATERALES FLEX5 US	1	2
3	36YU400	KIT R.Q. SUPERIOR FLEX5 US	1	2
4	36DK500	KIT PROLONGADOR 6M FLEX5 US	1	2
5	36DK200	KIT LATIGUILLO 3/8" FLEX5 US	1	2
6	36DJ900	KIT CONEXIÓN PUERTAS FLEX5 US	1	2
7	36DJ900	KIT CONEXIÓN PUERTAS FLEX5 US	1	2
8	36HF200	KIT DISTRIB. 3 VIAS FLEX5 US	1	2
9	36DK600	KIT BOTONERA EXT. FLEX5 US	1	1
10	36DK400	KIT PROLONGADOR 3M FLEX5 US	1	2
11	36YT300_1	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_1	1	1
12	36YU700_1	KIT SEC.SUP.+AP COPI.FLEX5 US_1	2	1
13	36DK100	KIT ELECTROB. 16,5KW FLEX5 US	2	2
14	36YT300_2	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_2	2	2

15	36EJ200	KIT LUMINOSOS PUERTAS	3	1
16	36YU800	KIT SECADO LATERAL FLEX5 US	2	1
17	36YU100	KIT AP.LAT.OSCILANTE FLEX5 US	2	2
18	36HL500	KIT AP. LATERAL FIJA FLEX5 US	2	3
19	36DK700	KIT DEPOSITO AGUA FLEX5 US	2	4
20	36DK700	KIT DEPOSITO AGUA FLEX5 US	2	4
21	36YT300_2	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_2	2	1
22	36YT300_2	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_2	2	2
23	36YT300_2	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_2	2	3
24	36YU700_2	KIT SEC.SUP.+AP COPI.FLEX5 US_2	2	1
25	36YU200_2	KIT AP SUP.GIRATORIA FLEX5 US_2	2	2
26	36EA300	KIT AP SUP.OSCILANTE FLEX5 US	2	3
27	36DK700	KIT DEPOSITO AGUA FLEX5 US	2	1
28	36DK700	KIT DEPOSITO AGUA FLEX5 US	2	2
29	36DK300	KIT MANGUERAS AP FLEX5 US	2	3

Tabla 4. Ubicación de las piezas por contenedor es Maersk 40' Standard (5 Piezas).

Item	Referencia	Descripción	N° de Fila	N° de Nivel
1	36YT300_1	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_1	1	1
2	36YT300_1	KIT 5 CEPILLOS FLEX5 US_1	1	2
3	36YU200_1	KIT AP SUP.GIRATORIA FLEX5 US_1	2	1
4	36EJ100	KIT CARENADO 3 CEP. FLEX5 US	2	2
5	36DK000	KIT ELECTROB. 11KW FLEX5 US	2	1

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se aplica el método matemático heurístico híbrido con balance de carga para la ubicación y transportación de piezas por contenedores, un trabajo de mucha importancia en la transportación de mercancías en los momentos actuales.

Las variables del modelo son las piezas a transportar en los contenedores y los atributos de las mismas son: largo, ancho, altura y peso. Entre otras restricciones se encuentran, la ubicación o superposición de las piezas en el contenedor y que representan en sí varias restricciones en cuanto al tamaño, la forma de colocarlas debajo, encima…. Entre otras. El embalaje está contemplado en cuanto a la forma de colocar en frente, fondo o de forma manual.

La función objetivo maximiza el volumen a transportar o lo que significa la minimización del espacio vacío en el contenedor.

La aplicación del método explicado permitió aumentar la densidad de utilización de los contenedores de carga respecto a los métodos empíricos existentes hasta ese momento. Esto permitió que la carga fuera reacomodada en un número menor de contenedores lo que reportó a la empresa una reducción sustancial de costes de transportación. Además, aportó mayor fiabilidad, pues se cumplieron con los parámetros de balance de carga, lo que es ventajoso a la hora de establecer la cadena logística hacia el lugar de destino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bischoff, E. E., & Ratcliff, M. S. (1995). Issues in the development of approaches to container loading. ***Omega***, *23*(4), 377-390.

Bortfeldt, A., & Gehring, H. (2001). A hybrid genetic algorithm for the container loading problem. ***European Journal of Operational Research***, *131*(1), 143-161.

Bortfeldt, A., & Gehring, H. (2003). A parallel tabu search algorithm for solving the container loading problem. *Parallel computing*, *29*(5), 641-662.

Che, C. H., Huang, W., Lim, A., & Zhu, W. (2011). The multiple container loading cost minimization problem. *European Journal of Operational Research*, *214*(3), 501-511.

Chien, C. F., & Wu, W. T. (1998). A recursive computational procedure for container loading. *Computers & industrial engineering*, *35*(1-2), 319-322.

Dyckhoff, H., & Finke, U. (1992). *Cutting and packing in production and distribution: A typology and bibliography.* Springer Science & Business Media.

Eley, M. (2002). Solving container loading problems by block arrangement. *European Journal of Operational Research*, *141*(2), 393-409.

Gehring, H. (1997). A genetic algorithm for solving the container loading problem. *International transactions in operational research*, *4*(5-6), 401-418.

Lin, S., Lins, S., & Morabito, R. (2002). An n-tet graph approach for non-guillotine packings of n-dimensional boxes into an n-container. *European Journal of Operational Research*, *141*(12), 421-439.

Mack, D., Bortfeldt, A., & Gehring, H. (2004). A parallel hybrid local search algorithm for the container loading problem. *International Transactions in Operational Research*, *11*(5), 511-533.

Parreño, F., Alvarez-Valdés, R., Oliveira, J. F., & Tamarit, J. M. (2010). Neighborhood structures for the container loading problem: A VNS implementation. *Journal of Heuristics*, *16*(1), 1-22.

Ratcliff, M. S., & Bischoff, E. E. (1998). Allowing for weight considerations in container loading. *Operations-Research-Spektrum*, *20*(1), 65-71.

Shindin, E., Masin, M., Weiss, G., & Zadorojniy, A. (2021). Revised SCLP-simplex Algorithm with application to large-scale fluid processing networks. arXiv preprint arXiv:2103.04405.

Terno, J., Scheithauer, G., Sommerweiß, U., & Riehme, J. (2000). An efficient approach for the multi-pallet loading problem. European Journal of Operational Research. *European Journal of Operational Research*, *132*(2), 372-381.