

Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministros para minimizar costos. Revisión de literatura*

Algorithms applied in the programming of the supply chains to minimize costs. Literature Review

Vanesa Ramírez Valencia**

Santiago Ruiz Herrera***

Omar Danilo Castrillón Gómez****

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue recopilar la información existente de las herramientas más utilizadas en la planeación de las cadenas de suministros, donde el propósito fundamental es la reducción de los costos. Esto se realizó a partir de una aplicación web, llamada Tree of Science, en donde se encontraron diversas tendencias a partir de las referencias bibliográficas. La revisión brindó conclusiones sobre las investigaciones y aplicaciones de herramientas de inteligencia artificial e investigación de operaciones, como algoritmos, metaheurísticas, programación lineal, programación no lineal, programación dinámica y algunos híbridos. Igualmente, el estudio concluyó acerca de los temas más tratados, vacíos de conocimiento y sectores económicos objeto de estudio, así como la identificación de objetivos y variables utilizadas en las publicaciones. Por último, se presentaron las metodologías identificadas y las más relevantes de la literatura.

Palabras claves: Cadena de suministro, Algoritmo, Metaheurística, Programación, Costos, Tree of Science, Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

The objective of the present study was to compile the existing information of the most used tools in supply chain planning, in which the fundamental purpose is cost reduction. This was done from a web application called Tree of Science, in which several tendencies were found from the bibliographical references. The review provided conclusions on research and applications of artificial intelligence and operations research tools such as algorithms, metaheuristics, linear programming, nonlinear programming, dynamic programming and some hybrids. Likewise, the study concluded on the most treated topics, knowledge gaps and economic sectors under study, as well as the identification of objectives and variables used in publications. Finally, the methodologies identified and most relevant in the literature were presented.

Keywords: Supply chain, algorithm, metaheuristics, programming, costs, Tree of Science, artificial intelligence.

Como citar este artículo:

V. Ramírez Valencia·S.Ruiz Herrera·O. D. Castrillón Gómez, "Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministros para minimizar costos. Revisión de literatura". *Ingeniare*, N°. 20, pp. 121-133, 2016.

* Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministros para minimizar costos. Revisión de literatura, Dirección de Producción y Operaciones, Vanesa Ramírez Valencia.

** Magíster en Ingeniería. Estudiante del Doctorado en Ingeniería – Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Calle 67 # 25 – 103 Apto 301. vramirezv@unal.edu.co

*** Ph. D en Ingeniería. Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Campus la nubia, departamento de ingeniería Industrial. sruizhe@unal.edu.co

**** Ph. D en Bioingeniería. Profesor titular del Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Campus la nubia, departamento de ingeniería Industrial. odcastrillong@unal.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministros o abastecimiento son un conjunto de actividades que se realizan a lo largo del canal de flujo, en las cuales la materia prima se convierte en producto terminado para el consumidor final [1]. Cada proceso de la cadena de suministros incurre en unos costos, que por su relevancia han llevado a realizar varios estudios entorno a la competitividad de las organizaciones [2]. Considerando la importancia de las operaciones de distribución, producción, inventarios, almacenamiento, entre otros, se genera un interés por parte de la comunidad académica por encontrar soluciones que minimicen los costos a partir de la programación de cada proceso de la cadena de abastecimiento. De aquí la necesidad de revisar la literatura ya existente y determinar el enfoque de las investigaciones hacia qué soluciones apuntan y los puntos específicos de la cadena de suministros en los que se enfocan los diferentes autores. Por lo tanto este artículo se centra en identificar qué tipo de herramientas de inteligencia artificial utilizan los investigadores para dar solución a los problemas planteados, enfocados en la minimización de costos en cada proceso.

Este artículo muestra tendencias actuales, estudios previos y vacíos detectados a lo largo del análisis de los autores, para tener más claridad sobre el estado actual de las investigaciones con respecto a la minimización de costos en la programación de la cadena de suministros, con soluciones enfocadas a la aplicación de metodologías basadas en inteligencia artificial. Se encontraron cuatro revisiones de literatura previas, tres de ellas tratan la integración de la producción y distribución, la última trata la producción de manera independiente. Estas revisiones se mencionan posteriormente en el desarrollo del artículo.

Por último se destaca la metodología de revisión de literatura sistemática que utiliza una aplicación web, Tree of Science [3], la cual construye una clasificación en raíz, tronco y hojas, a partir de unas referencias, tomando como criterio las redes de citas. Se puede encontrar en el presente análisis unos resultados y discusiones, los cuales brindan generalidades principales de los artículos, vacíos de conocimiento y temas tratados clasificándolos por grupos de autores identificados. Así mismo, se puede observar en las conclusiones los aspectos más relevantes detectados de toda la revisión de los artículos y los temas principales hallados según la clasificación brindada por la metodología utilizada.

2. METODOLOGÍA

Con la intención de generar una búsqueda sistemática de literatura, se utilizó la aplicación web, Tree of Science (ToS) descrito por [3]. Esta herramienta desarrolla el análisis de las referencias a través de las redes de citas, donde se evalúan los artículos de acuerdo a tres indicadores: grado de entrada, intermediación y grado de salida, donde los artículos con grado de entrada alto y salida cero, se les ha denominado raíces; los artículos con un grado de intermediación alto se les ha denominado tronco; por último, los artículos que tengan un grado de salida alto y un grado de entrada cero, se les ha denominado

hojas. Con esta metodología se realizó en primer lugar la ecuación de búsqueda, que es la siguiente: Supply chain Y Algorithm Y Scheduling Y costs, en la cual en cada palabra se buscó desde el tema. Esta ecuación se ingresó a la base de datos Web of Science (WoS), esta búsqueda se realizó el 17 de febrero del 2016 e identificó 265 artículos.

Con la ayuda de la aplicación web (ToS), se subieron los 265 artículos encontrados en el Web of Science a la herramienta y se generó el árbol de dicha búsqueda (ver Figura 1), que contiene los 80 artículos más relevantes según un análisis de la redes de citas interno de la herramienta. De allí se realizó una revisión detallada de estos, comenzando por los 10 de las raíces y los 10 del tronco, y luego se escogieron de los 60 de las hojas sólo los pertinentes al tema, de esta manera se construyó la revisión necesaria para la sustentación del presente trabajo.



Figura 1. Árbol generado con la ecuación de búsqueda.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Adicional a la metodología ya planteada, para las conclusiones generales, se realizó un análisis de todos los artículos integrados (raíz, tronco y hojas), en donde se detectaron tendencias generales y vacíos de conocimiento a partir de todos los artículos analizados en el presente trabajo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la metodología de la revisión de la bibliografía ya mencionada, en las soluciones algorítmicas aplicadas a las cadenas de abastecimientos, se encontraron las siguientes condiciones especiales: Los artículos ubicados en la raíz, son los que dan soportes a toda la revisión literaria, en estos se encuentran tres artículos de revisión [4], [5], [6], Los dos primeros centran su atención en la integración de la producción y distribución, mientras que el último se centra únicamente en la producción.

Esta diferencia también se nota en el resto de artículos revisados, autores como [7], [8], [9], [10], buscan en su desarrollo la integración de la producción y distribución, a diferencia de [11], [12], los cuales sólo desarrollan sus investigaciones desde la producción.

Es importante destacar que la variable tiempo utilizada como entrada a los sistemas, toma gran relevancia y es altamente estudiada, ya que autores como [7], [11], [8], [9] la desarrollan, convirtiéndola en una variable a la que el 44% de los autores agrupados en las raíces le dan un gran valor en sus estudios.

Analizando los artículos que se encuentran en el tronco, se nota una variación importante, ya que sólo se encuentra uno que consta de una revisión de literatura, [13], que se centra principalmente en la integración de la producción y distribución.

En esta parte de la revisión se evidencia un componente adicional, el estudio de la distribución sin ninguna integración, como lo hacen los autores [14], [15], [16]. Pero sin dejar de lado la importancia y peso que tiene el estudio de la integración de diferentes eslabones de una cadena de abastecimiento, en donde el 55 % de los artículos ubicados en el tronco, se centran en los estudios de integración de la distribución y producción ([17], [18], [19], [20], [21]). Los artículos mencionados en esta sección son de gran relevancia ya que son los autores que se han tomado como referentes en el transcurso del tiempo.

En la parte de las hojas, podemos observar también diferentes focos de estudio en donde autores como [22], [23], [24], [25], [26], centran sus investigaciones únicamente en el eslabón de producción, representando un 14% de los artículos seleccionados de las hojas. Cabe anotar que en este punto se comienzan a ver diferenciadas metodologías específicas para la solución de estas investigaciones como lo son la programación lineal y el algoritmo genético. Un punto adicional que se quiere destacar radica en la gran diferencia con los artículos revisados en las raíces. Los estudios centrados sólo en el tema de distribución comprenden el 45% de los artículos es esta sección.

Se puede observar que los autores centrados en el tema de distribución tienen un gran énfasis en el estudio y optimización de inventarios, en donde el 50% de los artículos, como [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], lo tratan y buscan soluciones adecuadas para los inventarios mencionados.

Para los autores que se centran en los temas de distribución, la disminución de costos es uno de los resultados esperados en sus investigaciones, como lo mencionan [35], [36], [37], [38], en donde en cada uno de sus artículos, la reducción de costos es de vital importancia y es el objetivo principal del estudio desarrollado.

Se puede concluir que no se tiene una metodología predominante en los estudios que se centran en el eslabón de distribución específicamente, ya que se presentan metodologías tales como algoritmos evolu-

tivos, como lo desarrollan [39], [27]. También se encuentra la programación no lineal, como lo mencionan [40], [31], [32]. Así mismo metodologías como la multi-objetivo desarrollada por [41], o la programación mixta como lo menciona [42]. Por último cabe destacar la metodología de algoritmo genético que genera avances significativos y que desarrollan autores como [30], [38], [33]. Como metodologías adicionales se encuentran la programación lineal, colonia de hormigas, entre otras relevantes, a las que diferentes autores también hacen referencia (40% o 14 de los artículos revisados en las hojas).

A partir del resto de artículos ubicados en las hojas, se encuentra que el 40% de éstos realizan sus investigaciones a partir de la integración de la producción y distribución, como lo realizan [43], [44], [45], en donde su principal problema de investigación está centrado en dicha integración.

Es importante destacar, como se vio en los artículos definidos en el tronco, la relevancia que toma el tema de inventarios. Como lo definen autores como [46], [47], [48], [49], [50], [51], una de las principales entradas a los sistemas son los inventarios, desde diferentes puntos de vista pero con el mismo tema de fondo. Por ejemplo, [51] trata su tema desde inventarios multinivel, mientras [48] busca no tener inventarios intermedios.

Así mismo, puede observarse el vínculo entre el estudio de los inventarios y la reducción de costos en los artículos agrupados en las hojas y que investigan los temas desde la integración de producción y distribución. Autores como [46], [47], [50], entre otros, integran los inventarios como una entrada y buscan la reducción de costos en sus resultados. Es importante destacar que autores como [52], [53], quienes buscan también una reducción de costos como los autores anteriores, no tratan el tema de inventarios directamente, sino que buscan como entrada principal el tiempo y de ahí el estudio se centra en su optimización.

En cuanto a las metodologías identificadas en las hojas, desde la integración de la producción y distribución, resulta de gran relevancia el algoritmo genético. Como lo mencionan [54], [47], [46], su metodología de investigación está basada en este algoritmo. También la programación dinámica es relevante como la estudian [49], [44], quienes desarrollan sus artículos a partir de ésta. Es importante anotar que se desarrollan otras metodologías como la de colonia de hormigas [48], entre otros algoritmos.

También se destaca la importancia que tiene el estudio de las necesidades de los clientes o sus demandas, en donde el 43% de los autores que abordan sus investigaciones desde la integración de la producción y distribución, ubicados en las hojas, toman dicha entrada como primordial. Desde los estudios desarrollados por [55], [56], [49], entre otros, se puede observar la relevancia que está tomando el cliente en la cadena de abastecimiento y la importancia de la satisfacción del mismo.

Como se puede observar en la figura 2, la aplicación de algoritmos para la programación de la cadena de abastecimiento, con el fin de minimizar costos, es de importancia académica, ya que como se puede

notar en los últimos años (2013, 2014 y 2015), ha sido un tema bastante tratado y de interés académico que ha ido en crecimiento.

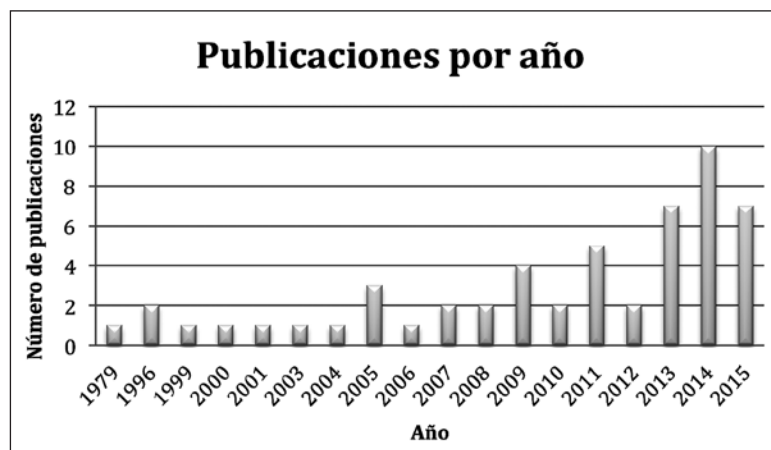


Figura 2. Publicaciones por año.

Fuente: Elaboración propia.

El 7,5 % de los artículos vinculados a esta investigación se centraron en algo similar a lo desarrollado en este trabajo, que consta de una revisión bibliográfica de temas enfocados a las cadenas de suministros y minimización de costos en algún punto de la cadena, lo cual es significativo en cuanto que se ha despertado el interés de diferentes investigadores por saber cuáles son los estudios previos en el tema y realizar la revisión necesaria.

De este 7,5% mencionado vale la pena destacar la revisión realizada por [13]; en donde se centra en productos con ciclos de vida cortos y le da una visión diferente a su revisión, también se puede mencionar la revisión de [4], [5], las cuales no se centran en un eslabón de la cadena de abastecimiento, si no en la integración entre producción y distribución.

Por otro lado, el mayor porcentaje de investigadores, según los artículos revisados, se centran en la integración de la producción y distribución con un 47% (23 artículos), como se observa en la Figura 3. Esto se puede dar por la creciente importancia de tener ligada la cadena de abastecimiento y generar minimizaciones por la integración de la misma.

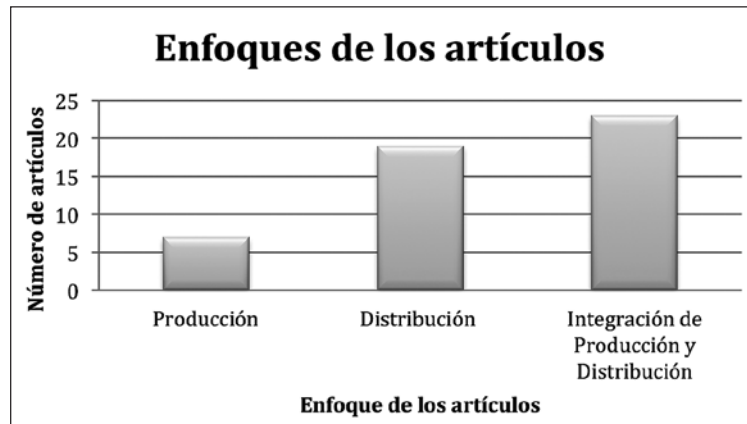


Figura 3. Enfoques de los artículos.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar autores como [18], quienes integran los pedidos a los clientes, las plantas de producción y los centros de distribución para encontrar la programación de pedidos de la manera más óptima. Autores como [48] integran la producción y distribución, pero con la condición especial de tener lo mínimo de inventarios intermedios en la cadena de abastecimiento, con estas condiciones proponen un algoritmo de optimización mediante colonia de hormigas en donde integran estos dos eslabones. De esta manera se observa como conclusión, que los investigadores prefieren abordar temas ligados a dos eslabones de la cadena, que enfocarse en un solo eslabón.

Observando los puntos de investigación se tiene que solo un 14% de los autores investigados toman esta programación sólo desde el enfoque de producción (Figura 3) sin tener afectación con algún otro eslabón, como lo mencionan [12], en donde su objetivo principal es la minimización del tiempo y número de máquinas, pero no aborda temas por fuera de la producción.

Así mismo se encontró que el 39% de los autores revisados se centran en el tema de distribución sin tener en cuenta la producción o pasándola a un nivel poco relevante (Figura 3) en la investigación global. De esta manera se puede determinar que hay un poco más de peso en los estudios de distribución al momento de tratar los temas por separado o sin implicaciones en un punto distinto de la cadena de abastecimiento. Se destacan autores como [15], los cuales generan programación por *flow shop* con múltiples ventanas de tiempo, tratando de generar el menor costo posible y autores como [36], quienes se centran en la distribución específicamente pero desde el tema de sub contrataciones, lo cual genera una condición especial y valiosa en el estudio.

Cabe destacar que del 39% de los autores que se enfocan sólo en el tema de la distribución, un 47% de ellos lo ligan al tema de inventario y lo toman en cuenta como un punto primordial en el estudio. Como lo mencionan [27], el costo de inventario es de vital importancia en la solución planteada.

Es importante destacar que el tema de inventarios se encuentra en artículos recientes, con un intervalo de años del 2011 al 2015, en donde se da a entender que es una tendencia que está creciendo y que se aborda en la actualidad, ya que los artículos de años anteriores con esta tendencia son muy pocos.

Adicionalmente, es importante mencionar que el sector económico en el que se centran los estudios revisados no tiene un porcentaje significativo en alguno en específico. Tenemos sectores como el de los ensamblados, que los estudian [21], y alguno que toma un poco de relevancia como lo son el de productos con ciclos de vida cortos, ya que autores como [18], [13], [15], [32], se enfocan en ellos y los tratan en todas sus investigaciones. Los sectores como el informático ([7], [32], [54]) que algunos autores desarrollan, no es muy estudiado pero se puede destacar, aunque en general no se tiene un sector específico a destacar.

Con el propósito de generar conclusiones a partir de los resultados que surgen de las investigaciones revisadas, se puede tener como principal resultado en la mayoría de artículos la optimización de los costos, ya sea en un solo eslabón de la cadena de abastecimiento o en la integración de varios, puede ser con diversas metodologías planteadas por los autores o en sectores distintos enfocados a operaciones particulares, en su mayoría los resultados deseados convergen en la optimización de los costos con un 28% de ellos. Adicional a esto se encuentra un 26% que busca la reducción de los costos de distribución específicamente y un 9% que busca la reducción de los costos de producción.

Adicional a los temas tratados, se analizaron las variables de entradas a los sistemas de manera general. Como se observa en la Figura 4, se tiene el tiempo con un 47% de los autores identificando esta entrada como una variable necesaria en sus estudios, las condiciones de los proveedores con un 17%, el número de máquinas con un 23%, el número de vehículos con un 15%, el nivel del servicio al cliente con un 9%, la ubicación y capacidad de los centros de distribución con un 11%, lotes con un 15%, almacenamiento 9% y las demandas de los clientes con un 26%. Cabe mencionar otras variables no muy usadas pero identificadas, como lo son fechas de vencimiento, capacidad de transporte, capacidad y costo de carga, rutas de los vehículos, puestos de trabajo.

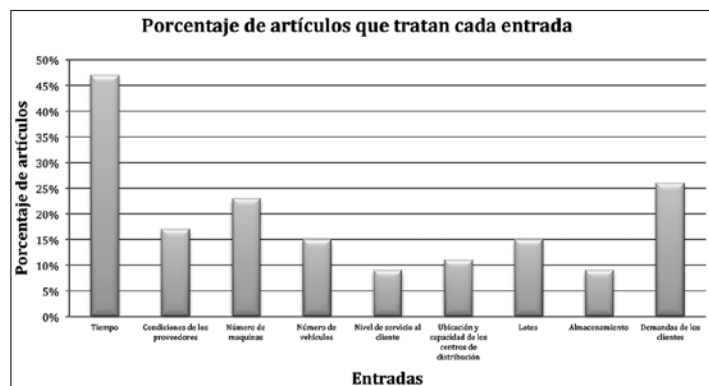


Figura 4. Porcentaje de artículos que tratan cada entrada a los sistemas.

Fuente: Elaboración propia.

Se observan las metodologías usadas en el cumplimiento de los objetivos de las investigaciones, en donde el algoritmo genético, con un 17% de los autores utilizándolo, se vuelve valioso. Como ejemplo principal tenemos a [25], quien aplica algoritmos genéticos para generar una secuencia de distribución óptima, que minimiza el costo de inventario del distribuidor bajo la restricción impuesta por el fabricante, ya que trabaja bajo metodología justo a tiempo.

Encontramos metodologías como programación lineal, programación no lineal, programación mixta y algoritmo polinómico, las cuales tienen una representación del 7,5%. También se pudieron observar metodologías como la colonia de hormigas, algoritmo pseudo-polinomio y programación dinámica con un 6%. Cabe anotar que se identificaron otras metodologías menos utilizadas por los autores analizados, pero que valen la pena mencionar, como lo son: algoritmo evolutivo, algoritmo híbrido, multi – objetivo, algoritmo pseudo-polinomio, entre otras.

Concluyendo, existe gran cantidad de metodologías basadas en algoritmos que se pueden aplicar para desarrollar investigaciones en la optimización de costos en la cadena logística.

4. CONCLUSIONES

La clasificación principal de la revisión de la literatura se centra en la aplicación web Tree of Science, que provee una visión distinta según el análisis de las redes de citas de la herramienta. Desde la metodología principal definida se pueden encontrar diferencias importantes, en donde los artículos ubicados en las raíces, no estudian la distribución como puntos independientes, los estudios principales se centran en la integración de la producción y distribución o la producción solamente. A diferencia de los artículos ubicados en el tronco en donde el 55% de ellos lo realizan en la integración de la producción y distribución pero estudian también cada uno de manera independiente. Por otro lado, en las hojas podemos encontrar la misma integración de los eslabones y cada uno independiente, la gran diferencia radica en la distribución como estudio independiente, y toma gran fuerza con un 45% de los artículos revisados.

Partiendo del análisis general de la literatura, puede concluirse que lo más estudiado es la integración de los dos eslabones (producción y distribución), con un 47%, por otro lado se encuentra únicamente un 7,5% de revisiones literarias, lo cual se considera poco dada la diversidad de literatura encontrada. Adicional a esto, el tema de inventarios toma gran relevancia en los estudios recientes. Lo tratan los autores desde diferentes perspectivas pero con el mismo tema principal, en su mayoría con aplicación en estudios recientes.

No se tiene un sector económico en el que se centren las investigaciones, se tiene gran diversidad de estos, yendo desde el sector informático hasta productos alimenticios. A partir de los objetivos principales de las investigaciones, se puede destacar que a pesar de la cantidad de objetivos encontrados, la optimización de los costos es el más significativo y se pretende obtener en la mayoría de investigaciones.

Adicional a esto se puede concluir que la variable de entrada más relevante es el tiempo, con diversas modificaciones pero con la misma variable.

Como última conclusión se destaca la gran cantidad de metodologías que se pueden aplicar a este tipo de problemas de investigación, entre los que se destacan los algoritmos genéticos como la más usada, seguido de metodologías como programación lineal, programación no lineal, programación mixta y algoritmo polinómico. Adicionalmente se ven las colonia de hormigas, algoritmo pseudo-polinomio y programación dinámica, y por último y menos desarrolladas según los artículos analizados, son los algoritmos evolutivos, algoritmo híbrido, multi – objetivo, algoritmo pseudo-polinomio, entre otras.

Como futuras líneas de investigación, se propone darle más énfasis al estudio del sector económico en el que se realizan las investigaciones. Igualmente, debe haber mayor interés en los productos con ciclo de vida corto o con restricciones de tiempo ajustadas, ya que necesitan unas condiciones especiales en las entradas a los sistemas mucho más exigentes en algunas variables. Esto con el propósito de aumentar el nivel de conocimiento y la literatura especializada en el tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. H. Ballou, *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación. 2004.
- [2] A. V. Contreras, "Costos transaccionales y cadena de abastecimiento: un asunto de competitividad." *Revista EAN*, Vol. 49, pp. 62-81, 2013.
- [3] S. Robledo, G. Osorio, y C. Lopez, "Networking en pequeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos." *Vínculos*, Vol. 11, no. 2, pp. 6-16, 2014.
- [4] D. J. Thomas, y P. M. Griffin, "Coordinated supply chain management." *European journal of operational research*, Vol. 94, no. 1, pp. 1-15, 1996.
- [5] A. M. Sarmiento, y R. Nagi, "A review of integrated analysis of production–distribution systems." *IIE transactions*, Vol. 31, no. 11, pp. 1061-1074, 1999.
- [6] C. N. Potts, y M. Y. Kovalyov, "Scheduling with batching: a review." *European journal of operational research*, Vol. 120, no. 2, pp. 228-249, 2000.
- [7] Z. L. Chen, y G. L. Vairaktarakis, G. L. "Integrated scheduling of production and distribution operations." *Management Science*, Vol. 51, no. 4, pp. 614-628, 2005.
- [8] J. Sched, "Machine scheduling with transportation considerations." *J. sched*, Vol. 4, no. 3, pp. 24, 2001.
- [9] N. G. Hall, y C. N. Potts, "The coordination of scheduling and batch deliveries." *Annals of operations research*, Vol. 135, no. 1, pp. 41-64, 2005.
- [10] Y. C. Chang, y C. Y. Lee, "Machine scheduling with job delivery coordination." *European Journal of Operational Research*, Vol. 158, no. 2, pp. 470-487, 2004.
- [11] T. E. Cheng, V. S. Gordon, y M. Y. Kovalyov, "Single machine scheduling with batch deliveries." *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, no. 2, pp. 277-283, 1996.

- [12] R. L. Graham, E. L. Lawler, J. K. Lenstra, y A. R. Kan, "Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey." *Annals of discrete mathematics*, Vol. 5, pp. 287-326, 1979.
- [13] Z. L. Chen, "Integrated production and outbound distribution scheduling: review and extensions." *Operations Research*, Vol. 58, no. 1, pp. 130-148, 2010.
- [14] N. G. Hall, y C. N. Potts, "Supply chain scheduling: Batching and delivery." *Operations Research*, Vol. 51, no. 4, pp. 566-584, 2003.
- [15] W. K. Yeung, T. M. Choi, y T. C. E. Cheng, "Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost." *International Journal of Production Economics*, Vol. 132, no. 2, pp. 223-229, 2011.
- [16] I. Grossmann, "Enterprise-wide optimization: A new frontier in process systems engineering." *AIChE Journal*, Vol. 51, no. 7, pp. 1846-1857, 2005.
- [17] C. A. Ullrich, "Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows." *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, no. 1, pp. 152-165, 2013.
- [18] Z. L. Chen, y G. Pundoor, "Order assignment and scheduling in a supply chain." *Operations Research*, Vol. 54, no. 3, pp. 555-572, 2006.
- [19] G. Steiner, y R. Zhang, "Approximation algorithms for minimizing the total weighted number of late jobs with late deliveries in two-level supply chains". *Journal of Scheduling*, Vol. 12, no.6, pp. 565-574, 2009.
- [20] G. Pundoor, y Z. L. Chen, "Joint cyclic production and delivery scheduling in a two-stage supply chain." *International Journal of Production Economics*, Vol. 119, no.1, pp. 55-74, 2009.
- [21] Z. L. Chen, y N. G. Hall, "Supply chain scheduling: Conflict and cooperation in assembly systems." *Operations Research*, Vol. 55, no. 6, pp. 1072-1089, 2007.
- [22] S. C. Sarin, H. D. Sherali, y L. Liao, "Primary pharmaceutical manufacturing scheduling problem." *IIE Transactions*, Vol. 46, no. 12, pp. 1298-1314, 2014.
- [23] Y. Wu, M. Dong, y D. Yang, "Cross-docking centre operation optimization using simulation-based genetic algorithm." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 225, no. 7, pp. 1175-1187, 2011.
- [24] C. Sel, B. Bilgen, J. M. Bloemhof-Ruwaard, y J. G. A. J. van der Vorst, "Multi-bucket optimization for integrated planning and scheduling in the perishable dairy supply chain." *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 77, pp. 59-73, 2015.
- [25] S. Gupta, M. Vanajakumari, y C. Sriskandarajah, "Sequencing deliveries to minimize inventory holding cost with dominant upstream supply chain partner." *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 18, no. 2, pp. 159-183, 2009.
- [26] Y. Mehravaran, y R. Logendran, "Non-permutation flowshop scheduling with dual resources." *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, no. 13, pp. 5061-5076, 2013.
- [27] L. Wang, H. Qu, Y. Li, y J. He, "Modeling and optimization of stochastic joint replenishment and delivery scheduling problem with uncertain costs". *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013, 2013.

- [28] T. Jia, X. Li, N. Wang, y R. Li, "Integrated inventory routing problem with quality time windows and loading cost for deteriorating items under discrete time." *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 2014.
- [29] M. Bassett, y L. Gardner, "Optimizing the design of global supply chains at Dow AgroSciences." *Computers & chemical engineering*, Vol. 34, no. 2, pp. 254-265, 2010.
- [30] F. Ahmadizar, M. Zeynivand, y J. Arkat, "Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach." *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 39, no. 22, pp. 7065-7081, 2015.
- [31] M. Hariga, M. Gumus, y A. "Daghfous, Storage constrained vendor managed inventory models with unequal shipment frequencies." *Omega*, Vol. 48, pp. 94-106, 2014.
- [32] J. Yu, D. Mungan, y B. R. Sarker, "An integrated multi-stage supply chain inventory model under an infinite planning horizon and continuous price decrease." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 61, no. 1, pp. 118-130, 2011.
- [33] A. Mohtashami, "A novel dynamic genetic algorithm-based method for vehicle scheduling in cross docking systems with frequent unloading operation." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 90, pp. 221-240, 2015.
- [34] J. T. Wong, C. T. Su, y K. H. Chen, "Replenishment policy based on modified ant colony optimisation and statistical analysis under the pre-order penetration point." *International Journal of Computer Mathematics*, Vol. 86, no. 3, pp. 477-491, 2009.
- [35] N. Karimi, y H. Davoudpour, "A branch and bound method for solving multi-factory supply chain scheduling with batch delivery." *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, no. 1, pp. 238-245, 2015.
- [36] E. Selvarajah, y R. Zhang, "Supply chain scheduling to minimize holding costs with outsourcing." *Annals of Operations Research*, Vol. 217, no. 1, pp. 479 – 490, 2014.
- [37] B. K. Lee, K. H. Kang, y Y. H. Lee, "Decomposition heuristic to minimize total cost in a multi-level supply chain network." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 54, no. 4, pp. 945-959, 2008.
- [38] S. Molla-Alizadeh-Zavardehi, M. Hajiaghaei-Keshteli, y R. Tavakkoli-Moghaddam, "Solving a capacitated fixed-charge transportation problem by artificial immune and genetic algorithms with a Prüfer number representation." *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, no. 8, pp. 10462-10474, 2011.
- [39] L. Wang, H. Qu, S. Liu, y C. Chen, "Optimizing the joint replenishment and channel coordination problem under supply chain environment using a simple and effective differential evolution algorithm." *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014, 2014.
- [40] T. Paksoy, y E. Özceylan, "Supply chain optimisation with U-type assembly line balancing." *International Journal of Production Research*, Vol. 50, no. 18, pp. 5085-5105, 2012.
- [41] T. R. P. Ramos, M. I. Gomes, y A. P. Barbosa-Póvoa, "Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns." *Omega*, Vol. 48, pp. 60-74, 2014.
- [42] A. Thomas, G. Singh, M. Krishnamoorthy, y J. Venkateswaran, "Distributed optimisation method for multi-resource constrained scheduling in coal supply chains." *International Journal of Production Research*, Vol. 51, no. 9, pp. 2740-2759, 2013.

- [43] B. Y. Cheng, J. T. Leung, K. Li, y S. L. Yang, "Single batch machine scheduling with deliveries." *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol. 62, no. 6, pp. 470-482, 2015.
- [44] C. C. Chern, y I. C. Yang, "A heuristic master planning algorithm for supply chains that consider substitutions and commonalities." *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, no. 12, pp. 14918-14934, 2011.
- [45] T. M. Choi, W. K. Yeung, y T. C. E. Cheng, "Scheduling and co-ordination of multi-suppliers single-warehouse-operator single-manufacturer supply chains with variable production rates and storage costs." *International Journal of Production Research*, Vol. 51, no. 9, pp. 2593-2601, 2013.
- [46] C. C. Chern, S. T. Lei, y K. L. Huang, "Solving a multi-objective master planning problem with substitution and a recycling process for a capacitated multi-commodity supply chain network." *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 25, no. 1, pp. 1-25, 2014.
- [47] O. Grunder, D. Wang, y A. El Moudni, "Production scheduling problem with delivery considerations in a mono-product supply chain environment to minimise the total joint cost." *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 7, no. 5, pp. 615-634, 2013.
- [48] Y. C. Chang, V. C. Li, y C. J. Chiang, "An ant colony optimization heuristic for an integrated production and distribution scheduling problem." *Engineering Optimization*, Vol. 46, no. 4, pp. 503-520, 2014.
- [49] S. Li, X. Zhong, H. Li, y S. Li, "Batch delivery scheduling with multiple decentralized manufacturers." *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 2014.
- [50] Y. C. Chang, K. H. Chang, y T. K. Chang, "Applied column generation-based approach to solve supply chain scheduling problems". *International Journal of Production Research*, Vol. 51, no. 13, pp. 4070-4086, 2013.
- [51] B. Abdul-Jalbar, J. M. Gutiérrez, y J. Sicilia, "Policies for a single-vendor multi-buyer system with finite production rate". *Decision Support Systems*, Vol. 46, no. 1, pp. 84-100, 2008.
- [52] C. A. Ullrich, "Supply chain scheduling: makespan reduction potential." *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. 15, no. 5, pp. 323-336, 2012.
- [53] R. F. T. Neto, M. Godinho Filho, y F. M. da Silva, "An ant colony optimization approach for the parallel machine scheduling problem with outsourcing allowed." *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 26, no. 3, pp. 527-538, 2015.
- [54] J. Tang, K. L. Yung, A. W. Ip, S. Liu, "Synchronized production and transportation planning using subcontracted vehicles in a production-distribution network." *Transportation Planning and Technology*, Vol. 30, no. 2-3, pp. 113-146, 2007.
- [55] G. Wang, y L. Lei, "Integrated operations scheduling with delivery deadlines." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 85, pp.177-185, 2015.
- [56] E. Cakici, S. J. Mason, H. N. Geismar, y J. W. Fowler, "Scheduling parallel machines with single vehicle delivery." *Journal of Heuristics*, Vol. 20, no. 5, pp. 511-537, 2014.