

Perfeccionamiento del modelo multiobjetivo para gestionar los recursos físicos en el sistema logístico de empresas comercializadoras

Autor: Andrés Antonio Borges Sánchez

Tutor: Prof. Aux., Yosvani Orlando Lao León, Dr. C.

Holguín, 2019



PENSAMIENTO

**“La lógica te llevará de la A a la Z;
imaginación te llevará a todas partes”**

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no es fruto de la individualidad, sino del trabajo de varias personas especiales que han recorrido un largo camino y han logrado materializarla.

Primeramente a la Revolución, dándome la posibilidad de crecer como profesional.

A mi familia, en especial a **Nivia** mi **madre**, mi baluarte, eterna luchadora, protectora, referente de madre y padre hasta los 8 años,... no sabes la bendición que es tenerte.

A mis **padres**, mi papá **Ponce** que siempre me ayudó y tuvo un consejo para darme, aunque no estuviera a mi lado, sé que me tenía presente; a papá **Miguel**, que me condujo a nuevos horizontes. Me acogió como un hijo y yo como un padre, porque es lo que mejor sabe hacer: padre... en otro continente sé que velas por mí, espero tu

llegada para abrazarte y darte las gracias.

A mi tía **Sonia** que siempre está en los momentos importantes de mi vida apoyándome.

A quien cariñosamente llamo “jefe” por la admiración que siento por él, paradigma de investigador, persona con valores que no abundan, a quien estaré eternamente agradecido, mi tutor, **Yosvani Orlando Lao León**, a su lado quiero seguir transitando el camino de la ciencia.

A **Thai**, mi novia que a pesar de estar inmersa en este proceso también, me ha brindado su ayuda y cariño... gracias por soportar este vendaval a mi lado.

A mis suegros, **Mercy** y **Ale**, gracias por acogerme como familia.

A mis amigos del aula, en especial a mis hermanos, **Leo** y **Eliezer**, que hicieron de esta “maratón” un entretenimiento, sin ustedes... hubiera sido sólo un Villalobo.

A mis amigos incondicionales: **Aylo**, **Mariana**, **Joaquín**, **Xavier**, **Osmany** y **Dianelis**.

A la profesora **Marisol Pérez Campaña** y **Aniuska Ortíz**, que durante un verano forjaron mi vocación.

A las profesoras **Milagros Perez Previa**, **Lidia Pérez Vallejo**, **Any Flor Nieves** e **Iliana Tapia**, por la confianza que han depositado en mí.

A mis compañeros de departamento: **Elisa**, **Yisell**, **Leudis**, **Mayra**, **Roberto**, **William**, **Yoli**, **Laura**, **Claudia**, **Carlitos**, **Celia**, **Franger**, **Froylán**, **Mariam**, **Lianet**, **Hidelvis**, **Maritza**, **Daydee**, **Gilberto**, **Ceyli** y **Rosmery**, con razón Industrial es el mejor departamento

A todos ustedes y sé que me faltaron muchos... **GRACIAS**

Resumen

La actualización del modelo económico cubano, impone cambios en las empresas en pos de lograr un desempeño superior y perfeccionamiento de sus procesos. En este sentido las organizaciones buscan la gestión integrada de los sistemas logísticos, apoyados en el proceso de toma de decisión a través del empleo de herramientas matemáticas. Con la idea de reducir los tiempos de respuesta e identificar la cantidad óptima de recursos, las organizaciones se apoyan en técnicas que garanticen la información necesaria para el logro de sus objetivos. Las empresas comercializadoras cubanas enfocadas en perfeccionar su sistema logístico, son unas de las que más recurren a este tipo de técnicas con la meta de optimizar sus procesos internos. A través de la identificación de problemas que afectan el correcto desempeño logístico de estas organizaciones y de una revisión de la literatura se encontraron deficiencias en el modelo multiobjetivo propuesto por Lao León (2017). Esta investigación persigue como objetivo: perfeccionar el modelo multiobjetivo de los recursos físicos que intervienen en el sistema logístico en empresas comercializadoras. Como resultado de esta investigación se perfeccionó el modelo multiobjetivo propuesto por Lao León (2017) que asegura la gestión de los medios, objeto y fuerza de trabajo necesario en el sistema logístico de empresas comercializadoras. A lo largo del desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos como el histórico-lógico y el análisis y síntesis; y empíricos como la programación multiobjetivo, programación entera, pruebas no paramétricas, análisis de correlación y análisis de clúster.

Abstract

The update of the Cuban economic model, imposes changes in companies in order to achieve superior performance and improvement of their processes. In this sense, organizations seek integrated management of logistics systems, supported in the decision-making process through the use of mathematical tools. With the idea of reducing response times and identifying the optimal amount of resources, organizations rely on techniques that guarantee the information necessary to achieve their objectives. The Cuban trading companies focused on perfecting their logistics system, are some of the most resorting to this type of techniques with the goal of optimizing their internal processes. Through the identification of problems that affect the correct logistic performance of these organizations and a review of the literature, deficiencies were found in the multiobjective model proposed by Lao León (2017). The objective of this research is to perfect the multi-objective model of the physical resources that intervene in the logistics system in trading companies. As a result of this research, the multi-objective model proposed by Lao León (2017) was perfected, which ensures the management of the means, object and work force necessary in the logistics system of trading companies. Throughout the development of the research, theoretical methods such as historical-logical and analysis and synthesis were used; and empirical ones such as multiobjective programming, whole programming, nonparametric tests, correlation analysis and cluster analysis.

Descriptor de siglas y acrónimos

| Siglas y acrónimos | Significado |
|-------------------------------|---|
| CDT | Coeficiente de disponibilidad técnica |
| EMCOMED | Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos |
| EMPA | Empresa Mayorista de Productos Alimenticios y Otros Bienes de Consumo |
| EMSUME | Empresa de Suministros Médicos |
| FT | Fuerza de Trabajo |
| GIRF | Gestión Integrada de Restricciones Físicas |
| GRF | Gestión de Restricciones Físicas |
| MT | Medio de Trabajo |
| NMGRF | Nivel de Madurez en la Gestión de Restricciones Físicas |
| NSPerc | Nivel de Servicio Percibido por el Cliente |
| NSProp | Nivel de Servicio Proporcionado al Cliente |
| OT | Objeto de Trabajo |
| SC | Servicio al cliente |
| SL | Sistema Logístico |
| SLEC | Sistema Logístico en Empresas Comercializadoras |
| UEB | Unidades Empresariales de Base |

Índice

| | Pág. |
|--|------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo I. Marco teórico referencial del modelo para la gestión integrada de las restricciones físicas que intervienen en el sistema logístico de una empresa comercializadora..... | 5 |
| 1.1. El sistema logístico. Definiciones, subsistemas y recursos | 5 |
| 1.1.1. El sistema logístico en empresas comercializadoras | 11 |
| 1.2. Modelación multiobjetivo. Aplicaciones a la logística | 14 |
| 1.2.1 Estado del conocimiento de la modelación multiobjetivo | 16 |
| 1.3. Valoración de los modelos matemáticos que gestionan recursos en la logística | 20 |
| 1.4. Conclusiones parciales..... | 25 |
| Capítulo II. Perfeccionamiento del modelo para la gestión integrada de restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras | 27 |
| 2.1. Situación actual de los recursos físicos en empresas comercializadoras del territorio holguinero | 27 |
| 2.2. Explicación del modelo..... | 31 |
| 2.3. Conclusiones parciales..... | 42 |
| Conclusiones generales..... | 43 |
| Recomendaciones | 44 |
| Referencias bibliográficas | I |

Introducción

En el contexto actual, las empresas se encuentran presionadas para alcanzar sus metas con calidad, eficiencia y eficacia. Esta situación está condicionada por lo dinámico y complejo del ambiente en el cual estas se desenvuelven. La disponibilidad de los recursos, cada vez más escasos en la sociedad, las obliga a realizar un análisis y perfeccionamiento de su gestión empresarial. El funcionamiento y, por consiguiente, los resultados que se obtengan en una empresa, estarán propiciados por la capacidad que tengan sus directivos para ofrecer respuestas rápidas y eficaces, a través del desarrollo de métodos y técnicas novedosas (Lao León, 2013).

La actualización del modelo económico cubano tiene como uno de sus objetivos lograr que en el sistema empresarial predominen las empresas organizadas, competitivas, capaces de autofinanciarse, de posicionarse como líderes en el mercado nacional e internacional y lograr la mejora continua de la gestión integrada, consiguiendo de este modo situarse en Perfeccionamiento Empresarial. Como afirma Saez Mosquera (2008) el proceso de Perfeccionamiento Empresarial ha introducido procesos de cambio en todas las esferas de actuación de las empresas nacionales. Vital importancia ha tomado el uso y tratamiento de la información como agente de cambio debido a su papel protagónico en los procesos de toma de decisiones.

Como afirman Gómez Acosta y Acevedo Suárez (2014), la logística que predomina en la economía cubana actual es de la primera etapa, enmarcando cuatro etapas para su desarrollo histórico e integración: Gestión de procesos logísticos individuales, Gestión por subsistemas, Logística empresarial y Logística integrada. Mediante el Decreto 281, el modelo de Perfeccionamiento Empresarial apunta hacia la segunda etapa, pero aún no existe infraestructura (en empresas, universidades, etc.) para su despliegue. No obstante, las actualizaciones realizadas en los Decretos 334, 335 y 336 no hacen alusión a la derogación de los artículos del 227 al 231 del Decreto 281 relacionado con la logística en las empresas.

Acevedo Suárez (2008), ratifica que la logística y la gestión de las cadenas de suministro son en la actualidad elementos de primer orden para el incremento de la eficiencia y la competitividad de las empresas y otras entidades en Cuba, asegurando los recursos

necesarios para dar respuesta con calidad a las necesidades del mercado, especialmente en las empresas comercializadoras.

La planificación, como Acevedo Suárez (2008) afirma, permite la optimización de las operaciones y satisfacer gran parte de los pedidos de los clientes en el marco de tiempo establecido y a un costo más bajo. La utilización de técnicas matemáticas en este proceso garantiza la toma de decisiones más rápida y eficiente (Garza Ríos y González Sánchez, 2004).

Los desarrolladores de la Investigación de Operaciones no pudieron imaginar cómo, a medida que iban creando algoritmos para darle solución a determinados problemas, el propio desarrollo tecnológico, unido a la cada vez más compleja tecnología de producción, entre otros factores, terminarían formulando problemas a resolver que se convertirían en un aumento del nivel de conocimientos sobre las variantes de decisión en el proceso de preparación de la misma (Marrero Delgado, Asencio García, Cespón Castro, Abréu Ledón, Orozco Sánchez y Sánchez Castillo, 2001). Hoy en día se busca desarrollar un modelo integrado de productos, procesos y recursos basado en la informática y las comunicaciones para generar mayor competitividad apoyándose en el concepto de Fábrica Digital (Acevedo Suárez, 2008).

En la actualidad la modelación multicriterio es el instrumento más efectivo para la determinación de los recursos logísticos y la toma de decisiones, ya que proporciona una modelación más exacta de la situación actual, mejorando su eficiencia y eficacia (Marrero Delgado *et al.*, 2001; González González, 2002; Garza Ríos *et al.*, 2004; Acevedo Suárez, 2008; Gómez Acosta, Acevedo Suárez, Pardillo Baez, López Joy y Lopes Martínez, 2013; Bautista Arias, 2014; Feitó Cespón, 2015; González Ricardo, 2015; Lao León, 2017). Ante la necesidad de las empresas cubanas de perfeccionar su sistema logístico y la cada vez mayor integración de estos, aparecen insuficiencias en los modelos matemáticos existentes (Garza Ríos y González Sánchez, 2001; Marrero Delgado *et al.*, 2001; González González, 2002; Martínez Delgado, 2003; Garza Ríos *et al.*, 2004; Espinosa Núñez, 2007; Acevedo Suárez, 2008; Bolaños Ocampo, Correa Flórez y Escobar Zuluaga, 2009; Costa Salas, Abreu Ledón, Machado Osés y Coello Machad, 2010; Hoff, Andersson y Christiansen, 2010; Pérez Pravia, 2010; Acevedo Urquiaga, 2013; Blanco Martínez, 2013; de Souza, Sobreiro, Nagano y Manfrinato, 2013;

Pardillo Baez, 2013; Godinho y Uzsoy, 2014; Soto de la Vega, Vidal Vieira y Vitor Toso, 2014; Vega de la Cruz, 2014; Feitó Cespón, 2015; González Ricardo, 2015; Lao León, 2017) que faciliten la gestión integrada de los recursos en los subsistemas logísticos en empresas comercializadoras.

Lao León (2017), desarrolló un modelo para la gestión integrada de las restricciones físicas identificándolas en el sistema logístico de empresas comercializadoras a partir de un modelo decisional con enfoque multiobjetivo para incrementar la madurez en la gestión de restricciones físicas y el nivel de servicio al cliente. Un análisis de su investigación, y en específico del modelo multiobjetivo propuesto, permitió identificar las brechas metodológicas siguientes:

1. Este autor, como parte de sus recomendaciones, planteó: “En el área de la modelación matemática, la implementación de restricciones en el modelo multiobjetivo que modelen el impacto social y económico, constituye un área insatisfecha en la presente investigación y que presenta oportunidades para la ciencia.”
2. En la descripción del modelo y presentación de sus restricciones se obviaron elementos metodológicos que entorpecen su entendimiento.

Estas deficiencias del orden metodológico, permitieron desarrollar como **problema científico** la necesidad de identificar oportuna y eficientemente las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras. El sistema logístico en las empresas comercializadoras constituye **objeto de investigación**. Con el propósito de resolver el problema planteado se definió como **objetivo general** de la investigación: perfeccionar el modelo multiobjetivo que permita identificar oportuna y eficientemente las restricciones físicas que intervienen en el sistema logístico de empresas comercializadoras.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto se definieron los **objetivos específicos** siguientes:

1. Construir el marco teórico referencial, derivado de la revisión bibliográfica de la literatura actualizada, la concepción del sistema logístico en empresas comercializadoras y la modelación matemática con énfasis en el enfoque multiobjetivo, sus tendencias y principales aplicaciones.

2. Perfeccionar el modelo decisional con enfoque multiobjetivo planteado por Lao León (2017), a partir de las insuficiencias identificadas.

En consecuencia el **campo de acción** se definió como la modelación multiobjetivo de los recursos físicos que intervienen en el sistema logístico en una empresa comercializadora. Planteándose como **hipótesis de investigación** la siguiente: el perfeccionamiento del modelo decisional con enfoque multiobjetivo, permitirá una identificación oportuna y eficiente de las restricciones que intervienen en el sistema logístico de las empresas comercializadoras para incrementar el servicio al cliente.

Mediante el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos y empíricos, apoyados en un conjunto de técnicas y herramientas:

Análisis y síntesis: mediante la revisión de literatura y documentación especializada, así como de la experiencia teórica y práctica de especialistas consultados.

Inductivo-deductivo: pues se parte de propósitos particulares para llegar a los generales y viceversa, específicamente se utilizó para diagnosticar la situación actual del campo al objeto.

Sistémico estructural: para el desarrollo del análisis del sistema logístico de las empresas comercializadoras y la modelación multiobjetivo de los recursos en el sistema logístico de estas, a través de su descomposición en los elementos que lo integran, identificándose las variables que más inciden y su interrelación, como resultado de un proceso de síntesis.

Métodos matemáticos: métodos de la Investigación de Operaciones, programación multiobjetivo, programación por meta y programación entera.

La presente investigación cuenta con la estructura siguiente: Introducción, Capítulo I, donde se confeccionó el marco teórico-referencial que sustentó la investigación; un Capítulo II, en el cual se perfecciona el modelo matemático planteado por Lao León (2017), un conjunto de conclusiones generales y recomendaciones derivadas de la investigación y la bibliografía consultada.

Capítulo I. Marco teórico referencial del modelo para la gestión integrada de las restricciones físicas que intervienen en el sistema logístico de una empresa comercializadora

En este capítulo se muestra el estudio de la bibliografía especializada para la confección del marco teórico referencial de la investigación, permitiendo la sistematización de los conocimientos fundamentales para el desarrollo de la misma, guiado por la lógica que facilitó su elaboración (Figura 1.1). Este se construyó partiendo del surgimiento, evolución y definiciones de logística; los sistemas logísticos, recursos, subsistemas, flujos, funcionamiento y enfoque en entidades comercializadoras, la modelación multiobjetivo, sus tendencias y principales aplicaciones y una comparación de los modelos matemáticos que gestionan recursos en la logística.

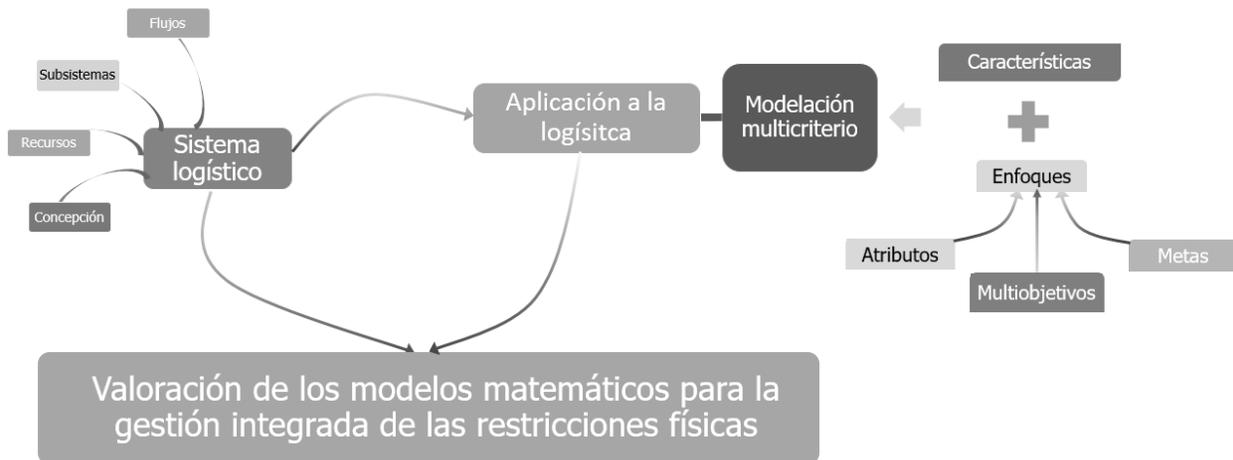


Figura 1.1. Marco teórico referencial de la investigación.

1.1.El sistema logístico. Definiciones, subsistemas y recursos

La gestión logística, como generalidad, se encarga de garantizar el flujo de recursos a lo largo de todo el proceso productivo desde los proveedores hasta el mercado, constituyendo el centro de circulación material de la vida empresarial (Vega de la Cruz, 2014). Entre las distintas definiciones que a lo largo de la historia se han desarrollado sobre la logística empresarial, está la de Cespón Castro y Auxiliadora Amador (2003) que la definen como: “el proceso de gestionar los flujos material e informativo de materias primas, inventario en proceso, productos acabados, servicios y residuales desde el suministrador hasta el cliente, transitando por las etapas de gestión de los aprovisionamientos, producción, distribución física y de los residuales”, Pérez Campaña

(2005) como: el proceso de planificar y controlar las actividades de almacenamiento y distribución relativas al flujo material con eficiencia y eficacia acorde a los requerimientos de los clientes a la empresa y Torres Gemeil, Daduna y Mederos Cabrera (2007) como un conjunto de técnicas que de por sí tienen cuerpo propio, no formando parte de ninguna en específico y apoyándose en elementos de diferentes áreas como: la matemática, la informática económica, la administración de empresas y otras. Urquiaga Rodríguez (1999) y ratificado por Gómez Acosta y Acevedo Suárez (2001) expresan que la logística es “la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño, dirección y ejecución de los flujos materiales, informativos y financiero, desde sus fuentes de origen hasta sus destinos finales, que deben ejecutarse de forma racional y coordinada con el objetivo de proveer a los clientes de los productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos y lugar demandados, con elevada competitividad y que garantice la preservación del medio ambiente”. Para el desarrollo de la investigación se adoptará el definido por Gómez Acosta *et al.* (2001), por ser uno de los conceptos más acertados y completo hasta la actualidad.

El autor de la investigación coincide con las cinco etapas del desarrollo y evolución de la logística definidas por Acevedo Suárez y Gómez Acosta (2010), la primera de ellas desde principios del siglo XX hasta la década del 60, la cual se define como el despertar de la logística en las empresas, compuesta por las actividades de transporte, almacenamiento y ventas; luego en la etapa (1960-1980) se produce un periodo de crecimiento, identificándose los procesos de aprovisionamiento, transformación y distribución. En el periodo (1980-1990) se desarrolla un proceso de cambios en la concepción de la red logística, la Administración de la Cadena de Suministros incorpora novedosos avances en las áreas de la informática y las comunicaciones y surgen nuevos sistemas de gestión logística. Los inicios del siglo XXI (2000) traen cambios en la cadena de Suministros, dándole importancia a los impactos medioambientales a través de la logística inversa o reutilización. Del 2010 hasta la actualidad se habla de una gestión logística global o integrada de las cadenas de suministros como etapa superior de integración, al concebirse que los sistemas logísticos deban expandirse a través de encadenamientos productivos.

Con la meta de incrementar los niveles de satisfacción de los clientes en el tiempo, calidad, cantidad y costos demandados, surge la necesidad de integración que impone la logística, convirtiéndose en un sistema; haciendo imposible hablar de esta como un único elemento, sino como un conjunto de actividades o subsistemas relacionados entre sí. Según Acevedo Urquiaga (2013) la integración es necesaria para que cualquier negocio perdure, lo preciso es, que incluso con mecanismos sencillos se garanticen los beneficios de la integración.

Gómez Acosta *et al.* (2001), afirman que el sistema logístico tiene la tarea de llegar al cliente en el momento demandado con el producto necesitado y a un costo ventajoso para el cliente, considerando como punto central de la logística, al producto. Gómez Acosta y Acevedo Suárez (2015), definen al sistema logístico como el conjunto de procesos y actividades (de una o varias entidades) que se integran, coordinan y sincronizan para satisfacer con un servicio a los clientes, asegurando cantidad, calidad, tiempo, lugar, costo y variedad demandados.

El análisis de los elementos del sistema logístico hace necesario el enfoque de estos desde el punto de vista de los recursos que conforman el sistema y las actividades que se ejecutan por la interacción de dichos recursos. Los recursos básicos de un sistema logístico son el hombre, medios de trabajo y objetos de trabajo y en los últimos años varios autores abogan por los recursos conocimiento y dinero. La gestión de los sistemas logísticos desde el punto de vista de los recursos consiste en determinar, monitorear y ajustar las variables de los mismos que garanticen eficientemente atender el mercado-objetivo con el nivel de servicio fijado (Gómez Acosta *et al.*, 2001).

Los sistemas logísticos se dividen en cuatro subsistemas: aprovisionamiento, producción, distribución, reciclaje o reutilización (Gómez Acosta *et al.*, 2001; González González, 2002; Cespón Castro *et al.*, 2003; Pérez Campaña, 2005; Acevedo Suárez *et al.*, 2010; Pérez Pravia, 2010; Acevedo Urquiaga, 2013; López Joy, 2014; Vega de la Cruz, 2014; Font Lara, 2015; González Ricardo, 2015; Lao León, 2017). Según Gómez Acosta *et al.* (2001) dentro de cada subsistema se agrupan distintas subdivisiones de acuerdo a las peculiaridades de la empresa, ejecutando las actividades que se requieren, quedando las actividades de transporte y almacenaje presentes en las cuatro fases.

Aprovisionamiento: todas las actividades desde los proveedores hasta la empresa son gestionadas en este subsistema, el movimiento de los materiales desde el almacén hasta el taller de producción, la determinación de demandas, la gestión de inventarios, las compras, el almacenamiento, manipulación, el transporte, la negociación, control de la calidad (Gómez Acosta *et al.*, 2001). Además, persigue como objetivo abastecer al cliente de la cantidad que precisa en el momento oportuno, minimizar el costo de adquisición para obtener el máximo de beneficio y minimizar el costo integral de aprovisionamiento (gastos de operaciones) para obtener máxima rentabilidad (Torres Gemeil *et al.*, 2007).

Producción/operaciones: este subsistema se encarga propiamente de la fabricación, o sea, de la transformación de los distintos objetos de trabajo (materias primas, materiales, etc.) en productos terminados. Incluye las actividades de fabricación, la transportación, almacenaje, manipulación, control de la calidad y el manejo de inventarios (Gómez Acosta *et al.*, 2001). Según Torres Gemeil *et al.* (2007) este subsistema tiene como objetivos proporcionar los productos al proceso de distribución en las condiciones de calidad, cantidad y plazos exigidos, minimizar el costo de elaboración buscando obtener mayor beneficio y minimizar el costo global de la producción hasta el momento de pasar a distribución, obteniendo la máxima rentabilidad.

Distribución física: Mediante este subsistema es que se logra llevar hasta los consumidores, los productos terminados que les fueron entregados por el subsistema anterior. Comprende en su ejecución labores de almacenaje, manipulación, transportación, embalaje y manejo de inventarios (Gómez Acosta *et al.*, 2001). Para Torres Gemeil *et al.* (2007) se pueden definir los objetivos siguientes: llegar al cliente en el plazo y el modo estipulado, minimizar los costos de distribución, así como el costo total de la distribución física hasta el momento de la entrega al cliente.

Reciclaje o logística inversa: Este subsistema se encarga de establecer la nueva utilización que se le dará a los productos finales, una vez concluido su ciclo de vida, comprendiendo, además, todo lo relativo al retorno, cuando esto sea necesario. Puede contemplar entonces, actividades de transporte, almacenaje, manejo de inventarios, manipulación y control de calidad (Gómez Acosta *et al.*, 2001). Su principal función es

devolver los productos usados a los ciclos productivos o asegurar una correcta eliminación (Feitó Cespón, 2015).

El sistema logístico es un proceso que para lograr su mayor eficiencia debe ser una cadena desde el mercado de los proveedores hasta el servicio que recibe el cliente. La existencia de un pensamiento individual en cada integrante de la cadena es perjudicial para el proceso en su conjunto. Se debe cambiar el enfoque individual por un análisis integral de la cadena logística. Los errores en los que se incurre en su fase inicial se manifiestan en todos los eslabones de la cadena. Para que esta sea efectiva deben ser analizados los tres flujos que la componen (figura 1.2): material, informativo y financiero (Torres Gemeil *et al.*, 2007).

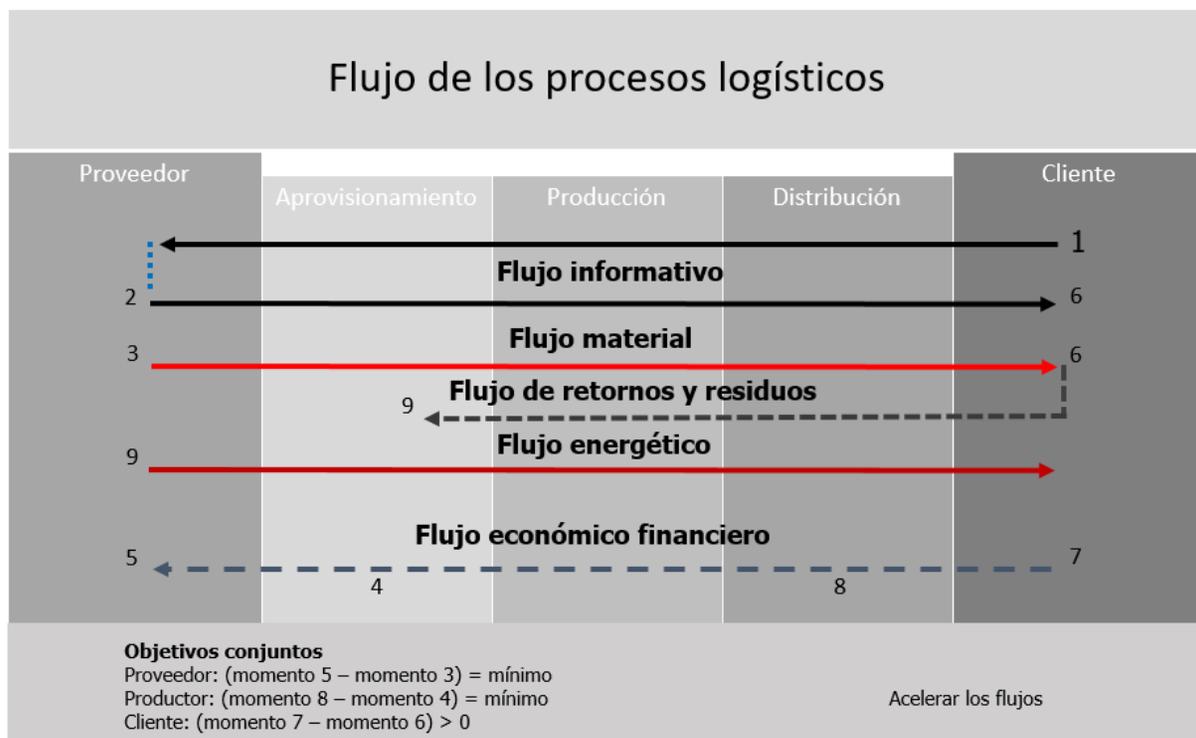


Figura 1.2. Flujos del sistema logístico.

Fuente: Gómez Acosta *et al.* (2014).

Flujo material: transcurre desde la entrada de la materia prima hasta la entrega del producto al cliente pasando por todos los procesos de transformación del mismo. Además, debe verse un flujo de retorno que abarca no sólo los desechos y pérdidas que

ocurren a lo largo del sistema logístico, sino también del retorno de los medios unitarizadores de carga, y del producto luego de vencido su uso por el cliente.

Flujo financiero: refleja los ingresos a la empresa, los anticipos que recibe en forma de créditos, asignaciones del presupuesto y los egresos, como resultado de la entrada de determinados recursos, así como a la remuneración de la fuerza de trabajo.

Flujo informativo: surge por la interacción de los procesos de dirección y está compuesto por las decisiones asociadas a la dirección del sistema logístico y los portadores principales de la información.

El sistema logístico es una red de unidades autónomas y coordinadas que permiten garantizar la satisfacción de los clientes finales, por lo que es necesario ver las relaciones entre los recursos, actividades, flujos y subsistemas logísticos como un todo integrado, para obtener el modelo de excelencia de toda empresa de éxito (figura 1.3).



Figura 1.3. Composición del sistema logístico.
Fuente: Gómez Acosta et al. (2014).

Para la operación satisfactoria de los sistemas logísticos se hace necesario dotar a los mismos de métodos o procedimientos, que permitan mantener la conducta de los sistemas dentro de ciertos límites de confianza, a fin de garantizar la eficiencia y eficacia

de los mismos (Ayala Bécquer, Bustillo González y Sánchez Fernández, 2005). La práctica moderna va conduciendo a estructuras integrales de la logística empresarial, quien se ha convertido en un sistema imprescindible para el progreso de las organizaciones, por lo que a su gestión se le debe atribuir la importancia que se merece y así lograr la reducción de los costos por decisiones erradas, pues es quien gestiona todo el flujo material desde el aprovisionamiento hasta la distribución y su retroalimentación, con los recursos necesarios (Rodríguez Domenech, 2016).

1.1.1. El sistema logístico en empresas comercializadoras

Las empresas comercializadoras, como eslabón fundamental de las cadenas de suministros, tienen la tarea de entregar a los clientes los productos demandados, en medio de un entorno dinámico y turbulento, provocado por la situación económica – social en que se encuentra el mundo (Fernández Alfajarrín, 2009). La actividad logística de toda empresa comercializadora debe enfocarse hacia las necesidades y requerimientos del cliente, satisfaciendo las expectativas que estos han creado acerca del servicio que se les presta, garantizándolo a la vez con un mínimo de costos (Herrera González, 2013).

Las empresas comerciales son las encargadas de la compra y venta de los productos terminados, estas pueden clasificarse en:

Mayoristas: este tipo de empresas adquiere bienes, mercancías o productos en grandes cantidades para distribuirlos entre las empresas minoristas, también a otras mayoristas pero a gran escala.

Minoristas (detallistas): son las que venden sus productos a una escala menor que las mayoristas, normalmente al consumidor final del producto.

Comisionistas: se encargan de vender los productos que no son suyos a cambio de una comisión.

Estas empresas poseen características que la diferencian de las productoras, en la tabla 1.1 se muestra un resumen de las principales diferencias del sistema logístico de cada una.

Tabla 1.1. Diferencias entre los sistemas logísticos de empresas productoras y comercializadoras

| Elementos | Productoras de bienes | Comercializadora |
|-----------|-----------------------|------------------|
|-----------|-----------------------|------------------|

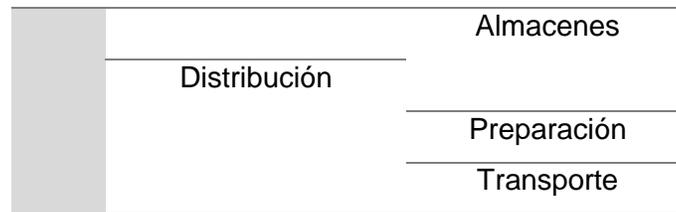
| | | |
|----------------------------------|---|--|
| Misión | Elaborar bienes y servicios de forma continua, evitar paradas innecesarias en el proceso. | Conseguir buenas condiciones de compra a los proveedores y mantener un nivel de stock suficiente para atender los pedidos. |
| Pronóstico de la demanda | Se determina cuándo y a qué nivel de demanda se va a producir a lo largo del tiempo (se utilizan mayoritariamente métodos de series de tiempo). | La demanda presenta estacionalidad. Análisis multivariado de las variables independientes. Técnicas más complejas |
| FT | Producción | Comercial |
| OT | MP y MF, PP y PT | PT |
| MT | Generalmente especializados según las características del objeto de trabajo | Estándares y adaptables, en pocas ocasiones especializados |
| Distribución | Proceso de apoyo | Proceso clave |
| Almacenamiento | Inventario de materias primas, producción en proceso y productos terminados | Inventario de productos terminados |
| Estados de resultados (ingresos) | En los costos del producto final deben estar integrados el costo de las materias primas y materiales y su procesamiento. | El valor de la compra del producto vendido es relacionado con el valor de venta del producto terminado. |

Fuente: Lao León (2017).

Para Torres Gemeil *et al.* (2007), en el caso de las empresas comercializadoras, que no tienen incorporado el proceso de producción como tal, el sistema logístico se simplifica como se muestra en la tabla 1.2, abarcando sólo el aprovisionamiento y la distribución. La función de almacenes constituye el enlace entre ambos subsistemas, ya que es la empresa donde se reciben los productos, para después ser distribuidos a los clientes.

Tabla 1.2. Sistema logístico para empresas comercializadoras

| Sistema Logístico | Proceso | Función |
|-------------------|-------------------|---------------|
| | Aprovisionamiento | Planificación |
| | | Compras |



Fuente: Torres Gemeil et al. (2007).

Según lo planteado por Gómez Acosta *et al.* (2014) y ratificado por González Ricardo (2015) los sistemas logísticos son el conjunto de procesos y actividades (de una o varias entidades) que se integran, coordinan y sincronizan para satisfacer con un servicio a los clientes; desde el punto de vista de las empresas comercializadoras y a efectos de esta investigación la actividad de producción es sustituido por la de almacenamiento, pues esta es la actividad principal desarrollada por este tipo de empresas, quedando formado el sistema logístico para empresas comercializadoras: aprovisionamiento, almacenamiento, distribución y reciclaje (figura 1.4).

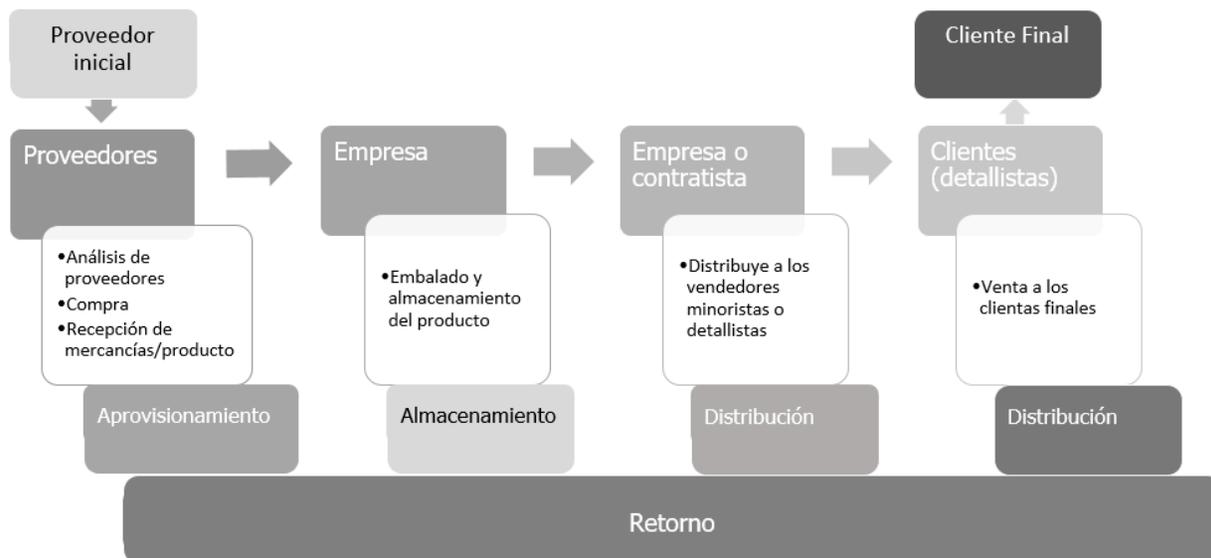


Figura 1.4. Sistema logístico de una empresa comercializadora.

Fuente: González Ricardo (2015).

Las empresas comercializadoras necesitan alcanzar una alta competitividad aumentando la satisfacción del cliente y con ello el margen de utilidades, en este sentido juega un papel importante la logística de aprovisionamiento asegurando los recursos necesarios para suplir las necesidades del mercado. En la actualidad con los cambios

que se formulan a nivel de país en el ámbito comercial, recobra especial atención la mejora de este sistema (Parada Curbelo y Hernández Maden, 2014).

González Ricardo (2015) afirma que existen escenarios en el sistema logístico de una empresa comercializadora, como: la diversidad de naturalezas de las decisiones, la variedad de recursos que se gestionan, la necesidad de reducir al máximo los costos en que se incurre y los tiempos que alargan el ciclo logístico, que demandan la utilización de métodos y técnicas que permitan la optimización del proceso de toma de decisiones.

1.2. Modelación multiobjetivo. Aplicaciones a la logística

La programación multiobjetivo constituye un enfoque multicriterio de gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos que deben satisfacer un determinado conjunto de restricciones. Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, pues en la vida real usualmente los objetivos se encuentran en conflicto, el enfoque multiobjetivo, en vez de intentar determinar un no existente óptimo, pretende establecer el conjunto de soluciones existentes (Romero, 1996; Garza Ríos *et al.*, 2004).

Según Najera y Bullinaria (2011), un problema de optimización multiobjetivo puede formularse de la manera siguiente:

$$\text{Min o Max } \mathbf{y} = f(\mathbf{x}) = [f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x})]$$

Sujeto a: $\mathbf{x} \in D$

Dónde: $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ es el vector de variable de decisión,

\mathbf{y} : es el vector objetivo,

D : Conjunto de soluciones factibles,

$\mathbf{y} = f(D) \in R^k$, es la imagen del conjunto de soluciones factibles en el espacio crítico.

Según Marrero Delgado (2001), el conjunto eficiente generado por los modelos multiobjetivo, brinda una información de utilidad para poder analizar el correspondiente proceso decisional, en la medida que el mismo constituye la curva de transformación entre los objetivos considerados. Estos modelos no tienen una solución única óptima, sino un conjunto de soluciones eficientes (Feitó Cespón, 2015).

Por su condición multidisciplinaria, la modelación multiobjetivo ha sido uno de los campos más explotados para soportar diferentes decisiones (Feitó Cespón, 2015). Los modelos matemáticos, especialmente los multiobjetivos, tienen diversas aplicaciones a nivel

empresarial. Las principales áreas logísticas en las cuáles se utilizan este tipo de modelos son: gestión de inventarios (Jiang y Wu, 2013), localización y asignación de instalaciones (Soto de la Vega *et al.*, 2014), transporte (Marrero Delgado, 2001; Espinosa Núñez, 2007), optimización del sistema logístico (Lao León, 2017), planificación de la producción (Marrero Delgado *et al.*, 2001; Garza Ríos *et al.*, 2004), diseño de productos (Frota Neto, Bloemhof-Ruwaard, Van Nunen y Van Heck, 2008), pronóstico de la demanda (Bolaños Ocampo *et al.*, 2009), costo y capacidad de mano de obra directa (Coca Ortegón, Castrillón Gómez y Ruiz Herrera, 2013) y logística inversa (Feitó Cespón, 2015). Estas investigaciones están enfocadas a métodos matemáticos de optimización que vinculan fundamentalmente las dimensiones económicas, productivas y ambientales. Según Ródenas, Marín y Patriksson (2011), una de las razones para el interés reciente en la modelación multiobjetivo es su aplicación en los servicios y entidades comerciales.

La necesidad de poseer organizaciones eficientes, que ahorran recursos energéticos y utilizan racionalmente los recursos para dar satisfacción a un cliente cada vez más exigente, consciente y preparado, ha provocado el cambio del paradigma decisional de un enfoque de optimización a un enfoque multicriterio, especialmente en el paradigma multiobjetivo, donde se obtienen soluciones que modelan racionalmente la forma de actuar del decisor, ya que lo fundamental no es abordar técnicas y(o) herramientas que permitan obtener un ahorro en cualquier dirección de una empresa, sino buscar una solución en la que se reduzcan los costos totales y se mejore el servicio (Vega de la Cruz, 2014).

El enfoque multiobjetivo, tiene gran aplicación en programas informáticos a nivel empresarial, ya que permite mejorar la toma de decisiones con agilidad y exigencia, modelando al unísono varios objetivos perseguidos por los expertos para encontrar el conjunto de soluciones óptimas. Los algoritmos multiobjetivos ayudan a resolver muchos de los problemas que se presentan en el día a día logístico; con este se puede capturar la complejidad del sistema logístico e integrar sus recursos, facilitando la modelación a la hora de cumplir con el campo de la investigación, permitiendo la realización de una modelación integral de los recursos: medios, fuerza y objeto del sistema logístico para las empresas comercializadoras. Hoy en día gracias a los avances informáticos, no se

necesita ser un experto para aplicar y beneficiarse de los resultados proporcionados por estos modelos.

1.2.1 Estado del conocimiento de la modelación multiobjetivo

La investigación se desarrolló apoyada en las hemerotecas en línea *ScienceDirect*, *Dialnet*, *Scielo*, y en el proyecto académico *Redalyc* debido a su acceso libre, visibilidad internacional y por difundir la producción científica actualizada en diversas áreas, permitiendo realizar un análisis sobre productividad y colaboración desde este contexto. El análisis estuvo dirigido hacia el comportamiento de las publicaciones referidas a la modelación multicriterio con énfasis en la modelación multiobjetivo a través de un muestreo desde el 1994 hasta enero del 2019. Los artículos se obtuvieron aplicando el modelo búsqueda avanzada TAK (*Title, Abstract, Keywords*) y manejando las palabras clave multiobjetivo, modelo multiobjetivo.

Luego se definen los indicadores bibliométricos para el análisis de la producción científica sobre la Modelación Multicriterio, aplicar los indicadores bibliométricos seleccionados y analizar los datos obtenidos a partir del análisis bibliométrico. La información examinada procede de 932 artículos, firmados por 2742 autores registrados en 241 revistas, recogidas el 1 de enero del 2019. El procesamiento digital de la información fue llevado a cabo por los programas EndNote X7 y Microsoft Excel 2016, logrando un análisis efectivo y obteniendo una tabla y tres figuras. Posteriormente, el análisis del estudio Bibliométrico se basó en cada nivel de acuerdo a los indicadores de productividad autoral y colaboración autoral, además productividad de artículos por año, recurrencia de las palabras clave de mayor interés y revistas con mayor número de publicaciones en los temas de interés para los autores.

En la siguiente tabla (1.3), se puede observar que de un total de 2742 autores que desarrollaron investigaciones a fines con los temas de interés y que se encuentran registrados hasta el 4 de enero del 2019, 40 autores predominan con mayor productividad de los cuales 2 de ellos presentan 9 publicaciones científicas, otros 4 investigadores presentan 6 publicaciones, 5 autores realizaron 5 publicaciones, 7 autores presentan 4 publicaciones, 22 autores realizaron 3 publicaciones, 168 presentan 2

publicaciones, y un total de 2534 autores publicaron solamente un artículo, los autores más productivos fueron Lao León, Yosvani Orlando y Marrero Delgado, Fernando.

Tabla 1.3. Productividad autoral

| Autores | Cantidad de artículos |
|---------------------------------|------------------------------|
| Lao León, Yosvani Orlando | 9 |
| Marrero Delgado, Fernando | 9 |
| Kipouros, Timoleon | 6 |
| Koziel, Slawomir | 6 |
| Leifsson, Leifur | 6 |
| Pérez Pravia, Milagros Caridad | 6 |
| Acevedo Suárez, José | 5 |
| Bekasiewicz, Adrian | 5 |
| Gómez Acosta, Martha | 5 |
| Lewis, Andrew | 5 |
| Vega de la Cruz, Leudis Orlando | 5 |
| Chhabra, Jitender Kumar | 4 |
| Dagli, Cihan H. | 4 |
| Garza Ríos, Rosario | 4 |
| González Sánchez, Caridad | 4 |
| 22 autores | 3 |
| 168 autores | 2 |
| 2534 autores | 1 |

Para el análisis de la productividad de artículos por revista se utilizó la herramienta *SubjectBibliography* del EndNote la cual permite exportar listas de datos de las bases de datos creadas con el programa, esto arrojó que los 932 artículos se encontraban repartidos en 241 revistas, se visualizan en la figura 1.5. Las revistas que presentaron mayor productividad son, en primer lugar la Revista: *Procedia Computer Science* con 134 artículos seguida de, *Procedia Engineering* con 109 artículos, *Energy Procedia* con 74 artículos, *Procedia CIRP* con 38 artículos, *Transportation Research Procedia* con 35 artículos y luego *Ingeniería Industrial*, *Procedia Manufacturing*, *DYNA*, *Ingeniare*. *Revista chilena de ingeniería* con 27, 25, 17 y 16 artículos respectivamente siendo estas las revistas más utilizadas por los autores.

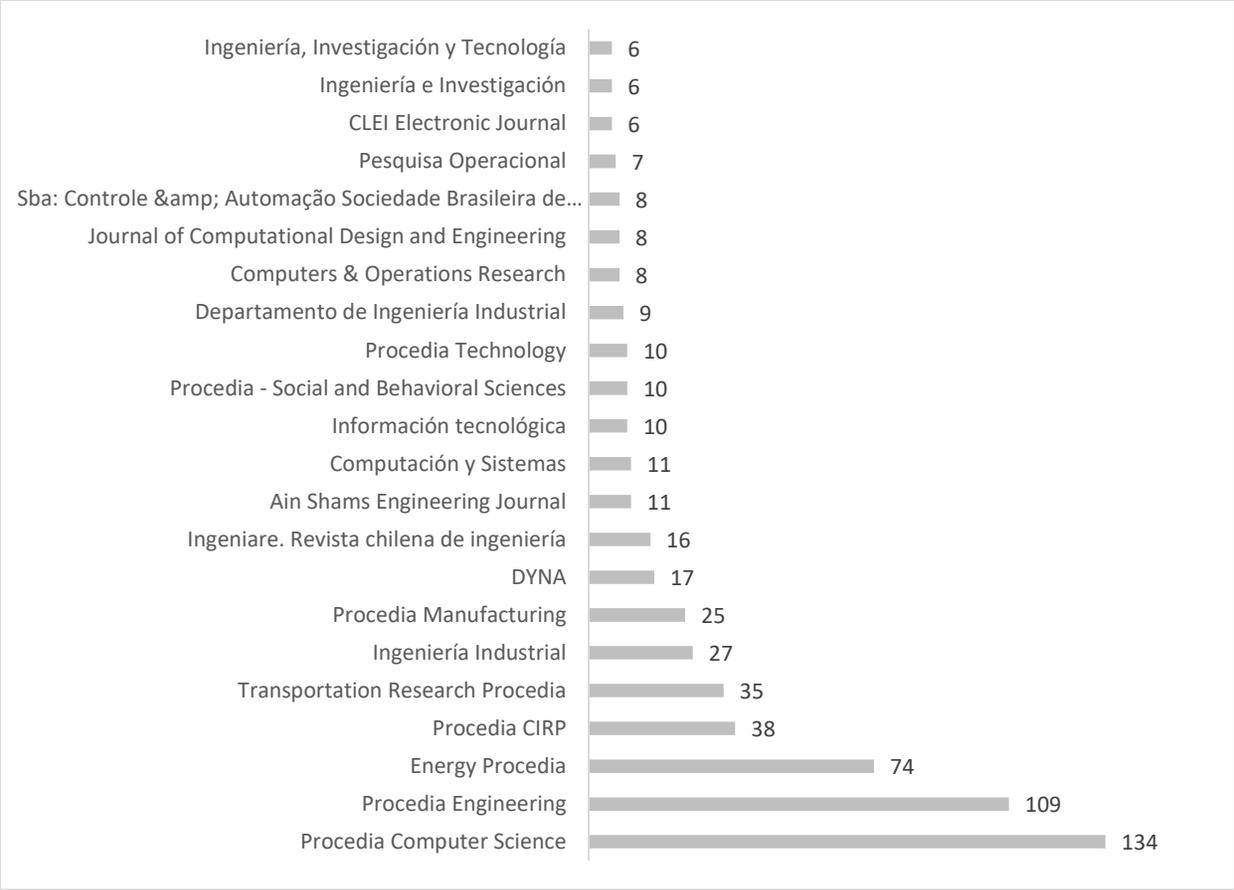


Figura 1.5. Productividad de artículos por revista.

Los datos arrojan que hasta el año 2013 se habían publicado 170 artículos, durante el 2014 se publicaron 151 artículos, en 2015 se realizaron 147 publicaciones, en 2016 se publicaron 151, en 2017 se publicó 180, en 2018 descendieron a 126 y finalmente hasta el 4 de enero del 2019 se habían realizado 7 publicaciones. En la figura 1.6 se muestra el periodo estudiado.

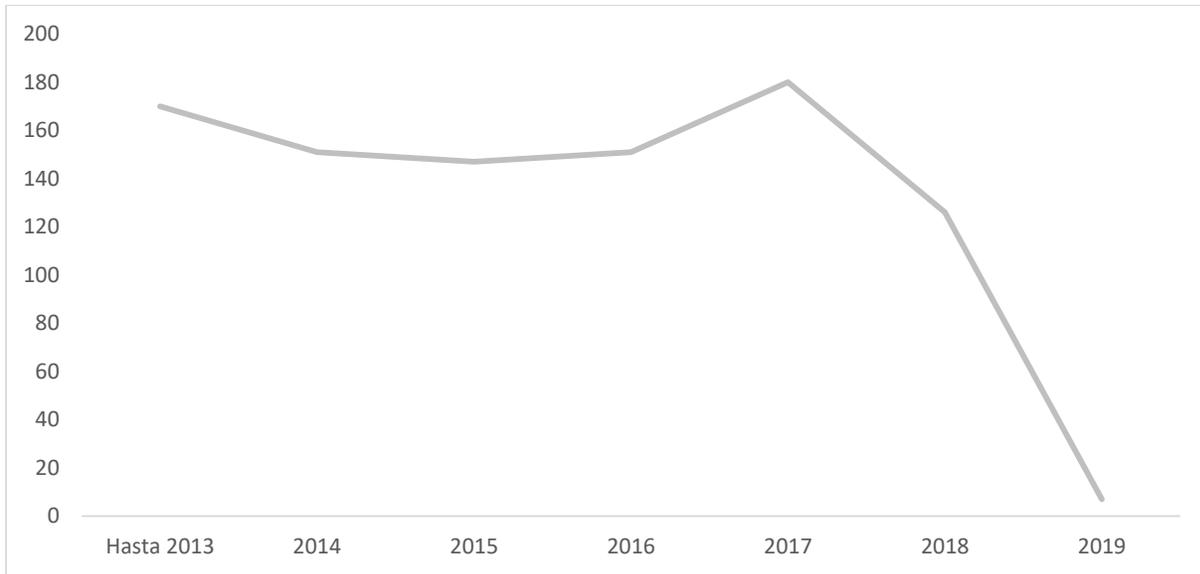


Figura 1.6. Cantidad de artículos por año.

De los 932 artículos analizados se extrajeron 3436 palabras clave las cuales se clasificaron y ordenaron obteniendo entre estas las de mayor frecuencia y que se muestran en la Figura 1.7.

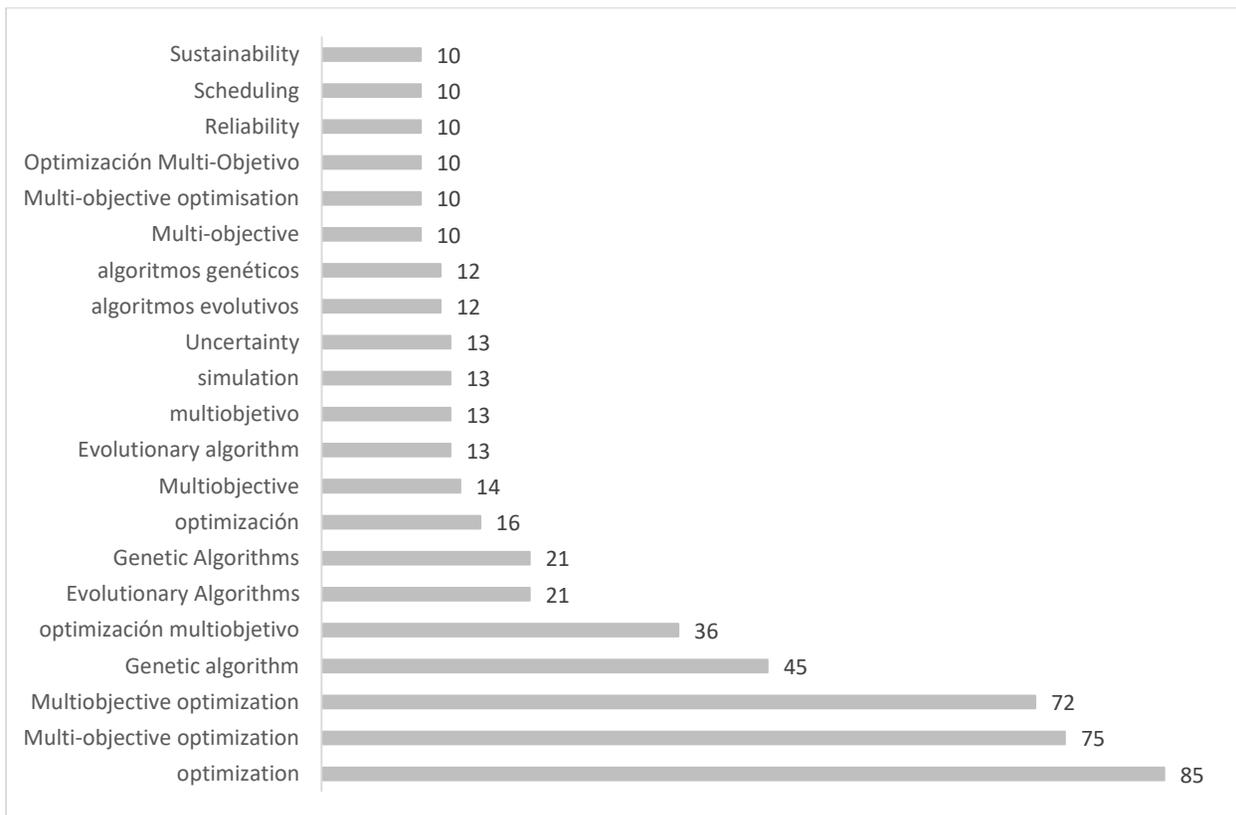


Figura 1.7. Palabras claves más frecuentes por artículo.

1.3. Valoración de los modelos matemáticos que gestionan recursos en la logística

La posición competitiva de una empresa está muy condicionada por la competitividad de todos los integrantes de las cadenas de suministro de las que esta es parte (Acevedo Urquiaga, 2013; Gómez Acosta *et al.*, 2013; Silva, Silva y Deus, 2014). El nuevo entorno demanda rapidez y flexibilidad en los procesos productivos y de servicios, desarrollando una nueva dinámica en la adquisición de recursos necesarios, los cuales no son producidos al mismo ritmo que se consumen.

Apoyándose en lo analizado con anterioridad y el objetivo de la investigación, se profundizó en el tratamiento metodológico recibido en la literatura especializada nacional e internacional de la modelación matemática en la logística empresarial, para lo cual se consultaron repositorios nacionales e internacionales, así como bases de datos científicas “on line”. Se tuvo acceso a 107 investigaciones, de las cuales el 93% correspondieron a investigaciones internacionales.

Un objetivo fue identificar el tratamiento dado a los recursos estudiados, para esto se asociaron las investigaciones por la utilización de la modelación matemática en la gestión de los OT, FT y MT. Posteriormente se concluyó que en la mayoría de las investigaciones se utilizaron simultáneamente modelaciones asociados a recursos específicos y de forma individual impidiendo que exista un tratamiento profundo e integrador de los recursos.

Realizados los análisis, se decidió seleccionar las investigaciones que modelaron uno de los tres recursos y de estos se obviaron los que no lo hicieron en ninguno de los cuatro subsistemas logístico. A partir de estos criterios, se analizaron 78 investigaciones que abarcan desde 2002 hasta los primeros días del 2019, concentrándose el 95.72% en la última década. De estas el 97.33% correspondieron a autores internacionales, y solo el 15.2% integran todos los recursos y los subsistemas logísticos. Seleccionado el grupo distintivo para la investigación, se procedió a un análisis más profundo de su comportamiento.

Los criterios bajo los cuales se compararon las propuestas fueron los siguientes:

- subsistema del SL que trabajan (aprovisionamiento, producción, distribución, retorno e integradores);

- recursos del SL que contemplan (OT, FT y MT);
- sistema en el que desarrolla la propuesta (producción de bienes, servicio o mixto); y
- tratamiento matemático de los recursos en la propuesta (monocriterio o multicriterio, de ser multicriterio el enfoque que se evidencia: múltiple atributo, multiobjetivo o metas múltiples).

En la tabla 1.4 se muestran los resultados obtenidos del análisis de las investigaciones y las comparaciones de las mismas con los criterios antes expuestos.

Tabla 1.4. Comparación de los enfoques consultados

| | Monocriterio | | | Atributos múltiples | | | Multiobjetivo | | | Metas | |
|----------------------|--------------|--|---|---|---|---|-----------------------------|---|--|--------------------------------------|---|
| | F | M | O | F | M | O | F | M | O | M | O |
| Producción de bienes | A | Dávila <i>et al.</i> (2012) | Dávila <i>et al.</i> (2012), Wu <i>et al.</i> (2014) | | | García (2000) | | | Jiang <i>et al.</i> (2013) | Marrero Delgado <i>et al.</i> (2001) | |
| | P | Tsai <i>et al.</i> (2013) | Souza <i>et al.</i> (2013), Ghazinoory (2013), Tsai <i>et al.</i> (2013), Hajek (2014), Sobreiro <i>et al.</i> (2014), Zhang <i>et al.</i> (2015) | | | Kallrath (2005), Kaveh (2013), Tanhaei <i>et al.</i> (2013) | Coca <i>et al.</i> (2013) | Troncoso <i>et al.</i> (2002), Delgado (2003), Baesler <i>et al.</i> (2006), Montoya <i>et al.</i> (2016), Unune <i>et al.</i> (2018), Nirala <i>et al.</i> (2018), Mali <i>et al.</i> (2018) | Ruiz <i>et al.</i> (2002), Delgado (2003), Cortés <i>et al.</i> (2008), Montoya <i>et al.</i> (2016), Schinko <i>et al.</i> (2017), Bachner <i>et al.</i> (2017), Schleicher <i>et al.</i> (2017), Steininger <i>et al.</i> (2017) | Wang <i>et al.</i> (2014) | Garza <i>et al.</i> (2004), Badri <i>et al.</i> (2014), Wang <i>et al.</i> (2014) |
| | D | Hoff <i>et al.</i> (2010) | | | González (2002) | | | Troncoso <i>et al.</i> (2002), Delgado (2003), Feitó (2015), Montoya <i>et al.</i> (2016) | Delgado (2003), Feitó (2015), Montoya <i>et al.</i> (2016) | Bautista Arias (2014) | |
| | R | | Rubio (2003) | | | Sadiq <i>et al.</i> (2006) | | Feitó (2015), Feitó <i>et al.</i> (2016), Cespón <i>et al.</i> (2016), Rubio <i>et al.</i> (2016) | | | |
| | I | Gómez Acosta (1997) | | | | | | | | | |
| Servicios | A | Rong (2009) | | | Urbano <i>et al.</i> (2016) | | | | | | |
| | D | | | | Ózdamar <i>et al.</i> (2004), Costa (2010), Urbano <i>et al.</i> (2016) | | | Cuadrado <i>et al.</i> (2007), Díaz <i>et al.</i> (2010), Bravo (2015), Pérez (2016), Toro <i>et al.</i> (2016) | | | |
| | I | Pérez Pravia (2010), Acevedo Urquiaga (2013) | | | | | | Lao León (2017) | | | |
| Mixtos | A | | Mendoza <i>et al.</i> (2009) | | | Zhao <i>et al.</i> (2005), De <i>et al.</i> (2015) | | | Bolaños (2009) | | |
| | P | | Kalenatic (1998) | | | Zhao <i>et al.</i> (2005) | Moreno <i>et al.</i> (2014) | | | | |
| | D | | Dai <i>et al.</i> (2005) | | | Garza Ríos <i>et al.</i> (2001) | Soto <i>et al.</i> (2014) | | | | |
| | I | | | Acevedo Suárez (2008), Pardillo Báez (2013) | | | | | | | |

En el primer grupo, dentro del subgrupo de distribución destacan los que utilizan la programación multiobjetivo¹ y los que utilizan los atributos múltiples². El subgrupo de integradores se organiza según el tipo de modelación que realizan y al tipo de entidad en los que son aplicables. Este se conglera según las técnicas monocriteriales para las empresas productoras de bienes (Gómez Acosta, 1997) y para las empresas de servicios (Pérez Pravia, 2010; Acevedo Urquiaga, 2013; Lao León, 2017) y por multiatributo y para empresas mixtas (Acevedo Suárez, 2008; Gómez Acosta *et al.*, 2013).

En el segundo grupo, el subgrupo de aprovisionamiento conglera en los que modelan los recursos con enfoque monocriterio (Zhao, Ball y Kotake, 2005; Mendoza y Ventura, 2009; Rong y Grunow, 2009; Dávila Vélez y Ramírez Otero, 2012; Soto de la Vega *et al.*, 2014) y en el subgrupo de producción (Kalenatic, 1998; de Souza *et al.*, 2013; Ghazinoory, Fattahi y Samouei, 2013; Tsai, Chen, Leu, Chang y Lin, 2013; Hajek, 2014; Sobreiro, Mariano y Nagano, 2014; Zhang y Du, 2015).

Segmentados los estratos, se concluye que solo los integradores resultan de interés para el desarrollo de la investigación porque integran todos los recursos y los subsistemas logísticos en los modelos matemáticos que proponen independientemente a las diferencias que presentan (tabla 1.5).

Tabla 1.5. Análisis de los enfoques integradores

| Contribución a la toma de decisiones | Objeto de modelación | SC | Nivel de especialización | Tipo de entidad | Área de aplicación | Aplicación en los servicios | Tipo de modelación |
|--|-------------------------|----|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Sistema del Plan de Fechas Principales | tiempo, recursos | No | Bajo | Producción | Flujos logísticos | Limitada | Monocriterio |
| Modelo de valor de los procesos logísticos, a través de los elementos de la estructura del proceso | costo, recursos, tiempo | Si | Bajo | Mixto | Cadenas de suministro | Amplia | Multiatributo |
| Gestión integrada y proactiva de las restricciones físicas, en los sistemas logísticos en hoteles | Recursos | No | Alto | Servicio (entidades hoteleras) | Sistema logístico de hoteles | Limitada a servicios hoteleros | Monocriterio |
| Nodos de integración para las operaciones inter-empresariales | recursos, tiempo, costo | Si | Bajo | Mixto | Cadenas de suministro | Amplia | Monocriterio |
| Planificación colaborativa en los procesos y actividades logísticos | recursos, tiempo, costo | Si | Bajo | Mixto | Cadenas de suministro | Amplia | Multiatributo |

¹ Troncoso, Garrido y Ibacache (2002), Martínez Delgado (2003), Baesler, Ceballos y Ramírez (2006), Cuadrado Guevara y Griffin Broadhead (2007), Coca Ortegón, Castrillón Gómez y Ruiz Herrera (2013), Bautista Arias (2014), Moreno, Álvarez, Noble y López (2014), Soto de la Vega *et al.* (2014), Bravo Urriga (2015), Feitó Cespón (2015), Castañeda Pérez (2016), Toro Ocampo, Franco Baquero y Gallego Rendón (2016) y Montoya, Hincapié y Granada (2016), Lao León (2017).

² Garza Ríos *et al.* (2001), González González (2002), Özdamar, Ekinci y Küçükyazici (2004), Sadiq y Khan (2006), Costa Salas *et al.* (2010) y Urbano Guerrero, Muños Marín y Osorio Gómez (2016).

| | | | | | | | |
|--|------------------|----|------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| Modelo multiobjetivo para la identificación de las restricciones físicas del sistema logístico en empresas comercializadoras | Recursos físicos | Si | Alta | Servicio (Comercializadora) | Sistema logístico | Limitada a Comercializadora | Multiobjetivo |
|--|------------------|----|------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|

Gómez Acosta (1997), propone el Sistema de Plan de Fechas Principales como herramienta para la gestión integrada del flujo logístico para la producción de alta masividad a través de la modelación monocriterio; solo tiene en cuenta restricciones de capacidad o características técnicas de los procesos. Acevedo Suárez (2008), desarrolla los fundamentos para la planificación y control de las Redes de Valor a través del Modelo multiatributo del Flujo Logístico, que se basa en establecer las condiciones de balance de la red en cada momento.

Pérez Pravia (2010), a través de la modelación monocriterio, diseña y aplica un modelo donde se evidencian las relaciones entre los procesos y actores, asegura la concepción integrada y proactiva de la gestión de las restricciones físicas a través de un conjunto de indicadores, acorde al nivel que exige la gestión logística bajo una concepción sistémica en instalaciones hoteleras. Esta autora acota el análisis de las restricciones a partir del análisis de estas en función de los clientes posibles a atender (análisis inválido en el SLEC) y no explicita la influencia que pueden tener estas en el SC de la organización.

Acevedo Urquiaga (2013), desarrolla un modelo aplicable a entidades de producción de bienes o servicio a través de la modelación monocriterio, formula el Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico, donde establece las relaciones matemáticas para el cálculo de las capacidades. Gómez Acosta *et al.* (2013), propone el Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro que permite la gestión integrada entre los actores del nodo en la cadena, donde obtiene la formulación para el cálculo de calidad como parámetro de los nodos de integración y de los indicadores de eficacia: disponibilidad y fiabilidad.

Lao León (2017), desarrolló un procedimiento general que integra coherentemente procedimientos específicos, métodos y herramientas que permiten desarrollar la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras, mediante la aplicación de un modelo multiobjetivo para identificar la restricción de cada subsistema y en su comparación la del sistema logístico, lo que facilita su análisis y, en consecuencia, el diseño de acciones que conlleven a su explotación y mejora. Destaca en la propuesta la determinación del Nivel de madurez en la GRF como

indicador de diagnóstico y mejora. Aunque entre sus posibles mejoras se encuentran valorar la posible automatización del procedimiento general para su implementación en servicios científicos-técnicos, consultorías, auditorías u otros y en el área de la modelación matemática, la implementación de restricciones en el modelo multiobjetivo que modelen el impacto social y económico.

La mayoría de las investigaciones consultadas, presentan como insuficiencia que realizan los estudios desde la perspectiva de uno de los subsistemas logísticos, actividad o de uno de los recursos, lo que limita el carácter integrador que debe caracterizar la gestión de las restricciones físicas en el SLEC, que se solventa en la propuesta del último autor. No obstante se considera que esta propuesta ofrece oportunidades de perfeccionamiento, mediante la reformulación de las determinadas restricciones y el diseño de otras que permitan contemplar en el modelo otros criterios. De igual forma la utilización de otras técnicas que permitirán reducir la incertidumbre en las soluciones que de este se obtienen.

1.4. Conclusiones parciales

1. Las empresas comercializadoras poseen un sistema logístico con rasgos genéricos, aunque sus características distintivas como: la necesidad de reducir al máximo los costos en que se incurre, las actividades que alargan el ciclo, la diversidad de naturalezas de las decisiones y la diversidad de recursos que se gestionan, requieren de un enfoque integrado en la gestión de sus recursos.
2. La modelación multiobjetivo ha tenido un gran desarrollo en los últimos años fruto de diversas investigaciones, por lo que se pueden apreciar modelos de optimización para diferentes procesos de las cadenas de suministros, que permiten identificar recursos físicos potencialmente restrictivos en los sistemas logísticos; en todos los casos a los que se tuvo acceso, para el desarrollo eficiente del modelo se demandó de técnicas y herramientas de la Estadística e Investigación de Operaciones que garantizaran un adecuado grado de fiabilidad en su aplicación.
3. La valoración de los modelos desarrollados enfocados a la gestión de restricciones físicas, permitió identificar que la propuesta de Lao León (2017) resuelve las carencias teórico-metodológicas que no les permitían satisfacer en su concepción y aplicación las deficiencias en el contexto del sistema logístico en empresas comercializadoras; no

obstante, esta propuesta adolece de los componentes social y económico en la identificación de las restricciones físicas, lo que corrobora la pertinencia y actualidad del problema científico enunciado.

Capítulo II. Perfeccionamiento del modelo para la gestión integrada de restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras

Para el éxito empresarial en la gestión logística, es de vital importancia disponer de un sistema informativo, que ofrezca una visión integral del desempeño de todos los recursos, a partir de un análisis que indisolublemente vea adecuada integración. (Lao León, 2017). A partir del análisis de la GRF, las perspectivas metodológicas y modelos matemáticos enfocados a esta, unido a la importancia de la comercialización en Cuba; en este capítulo se perfecciona el modelo desarrollado por Lao León (2017) que persigue como objetivo fundamental, gestionar de forma integrada las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras, consolidando los aspectos positivos del modelo analizado y dando solución a las insuficiencias identificadas, relacionadas con la contemplación de los elementos económicos y sociales asociados a los recursos físicos del sistema.

2.1. Situación actual de los recursos físicos en empresas comercializadoras del territorio holguinero

En una sociedad en constante desarrollo, la competitividad es la razón principal por la que muchas organizaciones sucumben en el proceso de crecimiento debido a las dificultades existentes, sean internas o externas. Por esta razón, solo las más fuertes sobreviven y las que consiguen aplicar con eficiencia el proceso de mejora continua. Para ello se debe enfocar al cliente como principal objetivo a satisfacer y establecer en las organizaciones los procesos necesarios para cumplir con su demanda.

El proceso de perfeccionamiento ha permitido detectar problemas dentro de las organizaciones que han afectado por años al sistema empresarial cubano, dentro de los cuales se encuentran los asociados a la gestión de las restricciones físicas. En las empresas comercializadoras las principales afectaciones enfocadas a la gestión de capacidades están relacionadas con elevados niveles de inventario con una composición inadecuada, motivado fundamentalmente por deficiencias en el funcionamiento y coordinación entre las fases de su sistema logístico. Además de las dificultades que trae consigo este problema en las empresas, representa además una limitación para la economía del país, ya que induce la inexistencia de recursos para los fondos estatales que revitalizan la economía y permiten el ofrecimiento de los servicios sociales gratuitos

como salud pública y educación; provoca la insatisfacción de los clientes al no recibir los productos demandados con la calidad y en la cantidad requerida en el momento oportuno e impide la realización de inversiones en las propias organizaciones que ofrezcan empleos y un mejoramiento de las condiciones de vida y trabajo de sus miembros.

Entre las empresas analizadas se encuentran la EMPA de Holguín que es la encargada de garantizar el suministro de los productos de la canasta básica a la población, así como su almacenamiento y conservación y la custodia de los productos del Instituto Nacional de la Reserva Estatal y la comercialización de productos alimenticios y bienes de consumo a los organismos del territorio. Las comparaciones entre las UEB de la misma, mostró que en cuanto al nivel de actividad entre las UEB 618, 623, 625 y el Establecimiento 651 poseen una capacidad de almacenamiento de aproximadamente el 75% de la provincia, destacándose este último con aproximadamente el 25% de la capacidad de la empresa.

Estudios previos en la entidad (Lao León, 2017), evidenciaron que existían deficiencias que dificultaban el desempeño de su SL, como:

- 1.No se garantiza el correcto flujo informativo, disponible en las Unidades Básicas (U/B), hacia la empresa referido a las necesidades de los productos que conforman la Canasta Básica, lo que limita el proceso de pronóstico para las distribuciones internas.
- 2.Deficiencias en la gestión de almacenamiento y distribución que ocasionan demoras en la distribución y en ocasiones incumplimientos en los ciclos de distribución.
- 3.Incremento de los costos de fletes, específicamente la partida estadías.
- 4.Desconocimiento de la localización de los cuellos de botella en el SL, que ocasionan interrupciones en los procesos logísticos.

Otro sistema logístico analizado fue el perteneciente a ENSUME de Holguín la cual, entre otras, se encarga de abastecer de productos médicos varias instituciones de salud de la provincia.

Según Lao León (2017), se evidencian un conjunto de deficiencias en el SL que se relacionan a continuación:

- 1.Deficiencias en la rotación de inventarios en determinados productos que ocasionan vencimientos, pérdidas e incumplimientos en sus stocks de seguridad, lo que incide en el cumplimiento de los pedidos.

2. Hacinamientos en el almacén que no permite la racional utilización de las capacidades de almacenamiento y el incumplimiento de los requerimientos reglamentados.

3. Incremento de las reclamaciones de los clientes con respecto a períodos anteriores por concepto de calidad y cantidad de los productos comercializados.

La solución de estas dificultades vinculadas a las restricciones físicas es de vital importancia, ya que la razón de ser de las empresas comercializadoras es el almacenamiento y distribución de estos recursos, al no contar con las materias primas, el correcto funcionamiento de sus procesos y el mantenimiento dentro del mercado, estas organizaciones desaparecerían lo que ocasionaría un verdadero caos. Por este motivo los sistemas logísticos de estas deben encontrarse diseñados de manera correcta operando como un ciclo continuo de mejoras, donde sean gestionados, en función a las necesidades de los clientes, todos los elementos de entrada y salida requeridos para el funcionamiento de la organización.

En la tabla 2.1 se muestra un resumen de varias investigaciones enfocadas a diversos objetos (administración de operaciones, pronóstico de la demanda, etc) en empresas comercializadoras, donde se seleccionaron las deficiencias detectadas y se agruparon en relación con la restricción física identificada. Destaca que en ninguna de las investigaciones realizadas se identificó a la fuerza de trabajo como restricción del sistema, lo que se encuentra en correspondencia con el proceso de reordenamiento laboral desarrollado en el territorio.

En el 90% de las investigaciones desarrolladas se identifica a los medios de trabajo como la restricción del sistema, 50% más que en las que aparece el objeto de trabajo; condición esperada dado el CDT del territorio. Estos resultados demuestran la necesidad de continuar investigando en la identificación de las restricciones físicas en los SL.

Tabla 2.1. Restricciones físicas detectadas en las investigaciones

| Investigaciones | Años | Entidad | Medios de Trabajo | Objeto de Trabajo | |
|--------------------|------|--|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Vega Ricardo | 2013 | EMPA | Isuficiencia de medios de izaje | Insuficiente mercancía | |
| Martínez Cruz | | | | | |
| Rodríguez Toledo | 2014 | EMCOMED | | Insuficiente medicamento | |
| Guzmán Hernández | | | | | |
| Arderi Martínez | | EMPA | | Insuficiente mercancía | |
| Noris Noris | 2015 | UB Especializada | Déficit de medios de transporte | | |
| Martínez Cruz | | | | | |
| Aguilera Arencibia | | UEB Beneficio, Envasado y Comercialización | | Insuficiente mercancía | |
| Pérez Avila | | EMCOMED | Isuficiencia de medios de izaje | | |
| González Ricardo | | | | | |
| Moreno Perdomo | | EMSUME | Poca disponibilidad de almacenamiento | | |
| García Coello | | Empresa Cárnica Holguín | | Insuficiente mercancía | |
| Rodríguez Domenech | 2016 | EMCOMED | Isuficiencia de medios de izaje | | |
| Matos Pérez | | | | | |
| Gómez Díaz | EMPA | | | | |
| Matos Galvez | 2017 | EMCOMED | | | Insuficiente mercancía |
| Martínez Gutiérrez | | | | | |
| Angulo Pupo | | | | | |
| Almaguer Requejo | | Empresa Nacional de Frigoríficos | | | |
| Verdecia Céspedes | 2018 | EMCOMED | | | |
| Carcacés Jimenez | | | | | |
| Batista Moreno | | | | | |

2.2. Explicación del modelo

Contenido: se presenta un modelo multiobjetivo para la gestión integrada de los recursos: OT, FT y MT presentes en el SLEC. Las empresas comercializadoras adquieren sus productos mediante sus respectivos proveedores. Una vez realizada la compra, la mercancía es recepcionada y almacenada en los almacenes pertenecientes a la entidad hasta el momento de su distribución hasta los clientes. Los elementos de esta red se representan en la figura 2.1.

Descripción del modelo

Para la aplicación del modelo es necesario tener en cuenta un conjunto de supuestos que permitan su desarrollo, estos son:

1. El modelo contempla varios recursos (OT, FT y MT).
2. La cantidad y localización de los proveedores y clientes es conocida.
3. La cantidad y localización de los almacenes de la entidad comercializadora es conocida.
4. La capacidad de almacenamiento es finita y conocida.
5. La demanda es determinística.

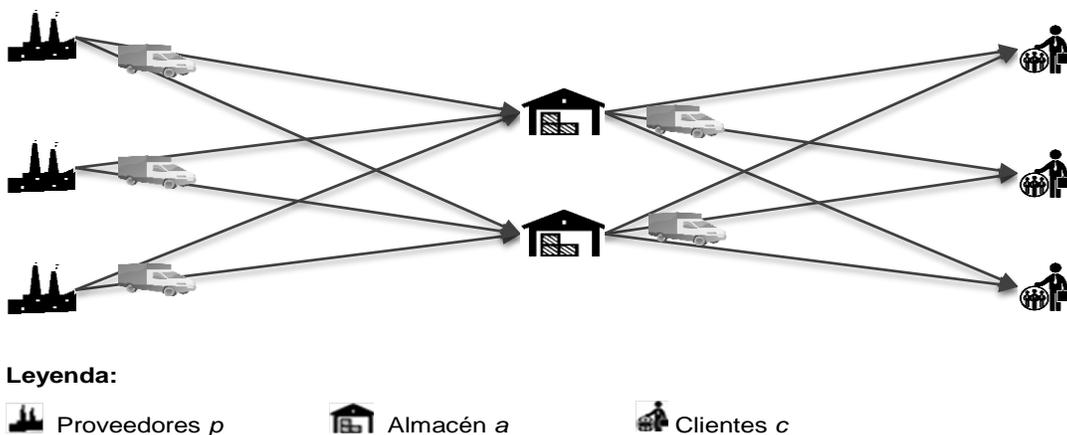


Figura 2.1. Elementos de la red logística.

Fuente: Lao León (2017)

6. La capacidad de los medios de transporte potenciales es conocida.
7. Los flujos son permitidos solo entre dos subsistemas consecutivos del SL y no se permite flujos entre elementos del mismo subsistema, ni saltarse subsistemas.
8. Se considera que la entidad cuenta con los recursos económicos para suplir las necesidades.

9. Los costos fijos y variables de cada subsistema son conocidos y se asume que su comportamiento es determinístico.

A partir de los supuestos planteados se estableció la formulación del problema de la manera siguiente:

Sean: los a almacenes necesarios para la recepción de los productos o provenientes del proveedor p y su almacenamiento hasta su distribución hacia el cliente c , conocidas las capacidades de almacenamiento y de los medios de transporte y la demanda y los gastos monetarios del SLEC, en condiciones de incertidumbre del número de los recursos necesarios.

Determinar: la cantidad de medios de trabajo (Mt), fuerza de trabajo (Ft) y objeto de trabajo (Ot) necesarios durante todo el sistema logístico tal que:

Min f_1 (Ft): minimizar la cantidad de la fuerza de trabajo necesaria en el sistema logístico.

Min f_2 (Mt): minimizar la cantidad de los medios de trabajo necesarios en el sistema logístico.

Max f_3 (Ot): maximizar la cantidad del objeto de trabajo en el sistema logístico para su comercialización.

Formulación del modelo

Para la formulación del modelo es necesario realizar la notación de los términos a emplear, estos se agrupan en los conjuntos, parámetros y variables siguientes:

Conjuntos

A: almacenes ($a = 1, 2, \dots, A$).

C: clientes ($c = 1, 2, \dots, C$).

I: puestos de trabajos ($i = 1, 2, \dots, I$).

M: medios de transporte potenciales ($m = 1, 2, \dots, M$).

O: tipo de productos ($o = 1, 2, \dots, O$).

P: proveedores de productos ($p = 1, 2, \dots, P$).

R: ciclos de distribución dados por un medio de transporte en la jornada laboral ($r = 1, 2, \dots, R$).

S: subsistemas logísticos ($s = 1, \dots, 4$).

T: tiempo (días) ($t = 1, 2, \dots, 30$).

Parámetros

ASS_{SD} : gasto en aporte a la seguridad social del salario directo [\\$].
 ASS_{SI} : gasto en aporte a la seguridad social del salario indirecto [\\$].
 C_o : cantidad de unidades del producto o [u].
 Ca_a : capacidad de almacenamiento del almacén a [u].
 Cd_{ms} : capacidad de carga dinámica del medio m [kg/medio].
 Cl_c : cantidad de clientes c [clientes].
 Cm_{br} : gasto en combustible fijo [\\$].
 Cm_{v} : gasto en combustible variable [\\$].
 Cp_c : cantidad de pedidos del cliente c [pedidos/cliente].
 CV_{ms} : capacidad de carga volumétrica del medio m [m^3 /medio].
 D_{os} : demanda del producto o en el subsistema s [u].
 DeD_{os} : desviación estándar de la distribución diaria del producto o en el subsistema s por día [u].
 Doc : gasto en documentación [\\$].
 Dp_{op} : disponibilidad del producto o solicitado al proveedor p. $Dp_{op} = \{0: No; 1: Sí\}$
 E_r : gasto en energía eléctrica fijo [\\$].
 E_v : gasto en energía eléctrica variable [\\$].
 Et_m : estado técnico del medio m. $Et_m = \{0: Malo; 1: Bueno\}$
 Ex_{os} : existencias del producto o en el subsistema s [u].
 $Fd_{m(i)s}$: fondo de tiempo disponible para el medio m (puesto i) en el subsistema s durante la jornada laboral [min/medio].
 Fts : fondo de tiempo disponible para la elaboración de los pedidos del cliente c [min].
 $GAlm_{os}$: gastos en almacenamiento del producto o en el substema s [\\$].
 GF_js : gastos fijos en el substema s [\\$].
 Gpe_{os} : gastos de preparación y empaque del producto o en el subsistema s [\\$].
 Grp : gastos en reposición [\\$].
 GT_s : gastos totales en el subsistema s [\\$].
 $GVbs$: gastos variables en el subsistema s [\\$].
 IM_{oas} : inventario máximo del producto o en el almacén a en el subsistema s [u].
 IS_{os} : inventario de seguridad para el producto o en el subsistema s [u].
 km_{os} : coeficiente de merma del producto o en el subsistema s [$0 \leq km_{os} < 1$].

$K_{s_{os}}$: coeficiente de seguridad de inventario del producto o en el subsistema s para garantizar norma de servicio (NS) = 90%. $K_{s_{os}} = 1,28$.

L: duración del ciclo del pedido [día].

MD: gasto en material directo [\$].

$M_{d_{ms}}$: cantidad de medios m disponibles en el subsistema s [medio].

$M_{nd_{ms}}$: cantidad de medios m no disponibles en el subsistema s [medio].

Mnt: gastos en mantenimiento [\$].

N_{pr_m} : cantidad de piezas de repuesto necesarias para reparar el medio m [u]

$N_{r_{is}}$: norma de rendimiento para cada puesto de trabajo i del subsistema s [pedido/d-
obrero].

$N_{v_{ms}}$: número de viajes a realizar por el medio m en el subsistema s [viajes].

$n_{v_{m_0}}$: número de viajes que puede realizar el medio m con el producto o en la jornada
laboral [viajes/medio].

OGM: otros gastos monetarios [\$].

P_{ops} : precio del producto o comprado al proveedor p que entrará en el subsistema s [\$/u].

P_a : plantilla aprobada total del SL [obreros].

P_r : plantilla real cubierta total del SL [obreros].

$P_{e_{oc}}$: plazos de entrega del producto o al cliente c [min/pedido].

$Pol_{f(m,i,s)}$: número de actividades que es capaz de asumir el obrero f (medio m, en el puesto
de trabajo i y en el subsistema s) $Pol_{f(m,i,s)} \in \mathbb{Z}$.

$P_{p_{is}}$: cantidad máxima de pedidos a procesar en el puesto de trabajo i en el subsistema
s por día [pedido/d].

P_{r_m} : cantidad de piezas de repuesto disponibles del medio m [u].

$P_{s_{op}}$: cantidad de productos o solicitados a los proveedores p [u].

p_{u_0} : peso unitario del producto o [kg/u].

P_{v_0} : plazo de caducidad del producto o luego de su entrada al sistema [día].

Q_{oms} : cantidad de producto o que el medio de transporte m debe trasladar en el
subsistema s [u/medio].

R_{p_m} : posibilidad de reparación del medio m. $R_{p_m} = \left\{ 1: si \frac{P_{r_m}}{N_{pr_m}} > 1; 0: si \frac{P_{r_m}}{N_{pr_m}} < 1 \right\}$

SD: gasto en salario directo [\$].

SI: gasto en salario indirecto [\$].

te_o : fecha de entrada del producto o al SL [día].

tp : tiempo máximo de preparación del pedido [min/pedido].

$tr_{m,r}$: tiempo máximo recorrido por el medio m en el ciclo de distribución r [min/viaje].

Tr_z : gasto en contratación a terceros [\$].

ts_o : fecha de salida del producto o del SL [día].

vo : volumen unitario de producto o [m^3/u].

$Vp_{m,c}$: cantidad de viajes que debe realizar el medio m para satisfacer la cantidad de pedidos del cliente c [viajes/pedido].

Variables de decisión

a : desviación positiva que indica sobregasto de los gastos totales [\$].

b : desviación positiva que indica exceso para la plantilla aprobada [obreros].

c : desviación negativa que indica ahorro de los gastos totales [\$].

d : desviación negativa que indica déficit para la plantilla aprobada [obreros].

e_{ms} : desviación positiva que indica exceso para el número de viajes [viajes].

f_{ms} : desviación negativa que indica déficit para el número de viajes [viajes].

Ft_{is} : cantidad de FT necesaria en los puestos de trabajos i en los subsistemas s [obreros].

g_a : desviación positiva que indica exceso para la capacidad de almacenamiento [u].

h_a : desviación negativa que indica déficit para la capacidad de almacenamiento [u].

j_{os} : desviación positiva que indica exceso para la demanda [u].

k_{os} : desviación negativa que indica déficit para la demanda [u].

l_o : desviación positiva que indica exceso para el plazo de caducidad [día].

Mt_{ms} : cantidad de MT m necesarios en todos los subsistemas s [medio].

n_o : desviación negativa que indica déficit para el plazo de caducidad [día].

Ot_{ocas} : cantidad de OT tipo o almacenados en el almacén a necesarios en todos los subsistemas s para satisfacer la demanda del cliente c [u].

q : desviación positiva que indica exceso para el fondo disponible [min].

s : desviación negativa que indica déficit para el fondo disponible [min].

t_c : desviación positiva que indica exceso para el plazo de entrega [min/pedido].

w_c : desviación negativa que indica déficit para el plazo de entrega [min/pedido].

u_m : desviación positiva que indica exceso para la capacidad dinámica [kg/medio].

x_m : desviación negativa que indica déficit para la capacidad dinámica [kg/medio].

y_m : desviación positiva que indica exceso para la capacidad volumétrica [m^3 /medio].

z_m : desviación negativa que indica déficit para la capacidad volumétrica [m^3 /medio].

Función objetivo

El modelo propuesto contempla una función objetivo representada por la expresión 2.1, con la que se pretende minimizar la cantidad de FT necesarios en cada puesto de trabajo del SL, determinar la cantidad óptima de MT necesarios para suplir la demanda en el SL y modelar los OT necesarios en el SL para cumplir con la demanda de los clientes, aunque se les puede dar prioridades a partir de los pesos (N, T y Z) definidos.

$$\begin{aligned}
 & \min f_1(Ft_{is}, Mt_{ms}, Ot_{ocas}, e_{ms}, y_m, z_m, u_m, x_m, j_{os}, k_{os}, g_a, h_a, l_o, q, t_c, a, b, c, d) \\
 & = N \sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^I (Ft_{is}/Pr + b/Pr + d/Pr + q/Fts) \\
 & + T \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^4 (Mt_{ms}/Md_{ms} + e_{ms}/Nv_{ms} + y_m/Cv_{ms} + z_m/Cv_{ms} + u_m/Cd_{ms} + x_m/Cd_{ms}) \\
 & - Z \sum_{o=1}^O \sum_{c=1}^C \sum_{a=1}^A \sum_{s=1}^4 (Ot_{ocas}/D_{os} - j_{os}/D_{os} - k_{os}/D_{os} - g_a/Ca_a - h_a/Ca_a - l_o/Pv_o \\
 & \quad - t_c/Pe_{oc} - a/GT_s - b/GT_s)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Restricciones

La plantilla aprobada debe estar cubierta en su totalidad y la cantidad de trabajadores existentes no se debe exceder de esta (2.2), pues se incurriría en gastos por mano de obra innecesarios de existir exceso, si por el contrario existe déficit de trabajadores puede que no se cumpla con el plan establecido. En las organizaciones generalmente pueden o no existir obreros capacitados para asumir otra(s) función(es) independientemente del cargo que ocupe, para suplir las necesidades de esta se debe cubrir temporalmente el puesto de algún obrero ausente por cierta causa (2.3).

$$\sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^I Ft_{is} - b + d = Pa \tag{2.2}$$

$$\sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^I Ft_{is} \cdot Pol_{f(m,i,s)} \geq Pr \tag{2.3}$$

La expresión (2.4) garantiza la cantidad exacta de trabajadores en cada puesto de trabajo de cada subsistema necesarios para realizar las actividades previstas durante la jornada laboral según la norma de rendimiento establecida para cada obrero.

$$\sum_{s=1}^4 Ft_{is} \geq \sum_{s=1}^4 \frac{Pp_{is}}{Nr_{is}}, \forall i \quad (2.4)$$

Para conocer con exactitud los MT disponibles para su uso, se tiene en cuenta el estado técnico que este presenta (2.5), debido a que se debe prever que durante su empleo no ocurran roturas imprevistas que en vez de agilizar el proceso, constituyan una barrera y lo ralenticen. Pueden existir MT que en caso necesario puedan emplearse para realizar otras actividades que no sea la que normalmente este desempeñe.

$$\sum_{s=1}^4 Mt_{ms} \cdot Et_{ms} \leq \sum_{s=1}^4 Md_{ms} \cdot Pol_m, \forall m \quad (2.5)$$

Los MT disponibles pueden ser insuficientes para cumplir con la demanda, por lo que es necesario que de existir MT inhabilitados por su deficiente estado técnico, estos sean reparados en dependencia de las posibilidades de la organización de contar con las piezas de repuesto necesarias (2.6).

$$\sum_{s=1}^4 Mt_{ms} \leq \sum_{s=1}^4 Md_{ms} + Mnd_{ms} \cdot Rp_m, \forall m \quad (2.6)$$

Para determinar la cantidad de MT necesarios para suplir la demanda de todos los productos para todos los subsistemas, en dependencia de la carga dinámica (2.7) y volumétrica (2.8) se establecieron las restricciones siguientes:

$$\sum_{s=1}^4 Mt_{ms} \geq \sum_{s=1}^4 \frac{\sum_{o=1}^O D_{os} \cdot pu_o}{Cd_{ms}}, \forall m \quad (2.7)$$

$$\sum_{s=1}^4 Mt_{ms} \geq \sum_{s=1}^4 \frac{\sum_{o=1}^O D_{os} \cdot v_o}{Cv_{ms}}, \forall m \quad (2.8)$$

Es de suma importancia garantizar el aprovechamiento máximo de las capacidades, para esto se establecen un conjunto de restricciones de capacidad (2.9)-(2.10). Con las ecuaciones (2.9) y (2.10) se logra a través de la programación por meta que no exista ni déficit ni exceso de carga en los medios de transporte en cuanto a las capacidades de carga volumétrica y dinámica. Por lo que se requiere que para cada una de estas expresiones se realicen las conversiones matemáticas necesarias para homogenizar las unidades de medida de las cantidades de producto con respecto al criterio que se evaluó.

$$\sum_{s=1}^4 \sum_{o=1}^O (Q_{oms} \cdot v_o) - y_m + z_m = \sum_{s=1}^4 C v_{ms}, \forall m \quad (2.9)$$

$$\sum_{s=1}^4 \sum_{o=1}^O (Q_{oms} \cdot p u_o) - u_m + x_m = \sum_{s=1}^4 C d_{ms}, \forall m \quad (2.10)$$

El inventario meta no puede sobrepasar la capacidad de almacenamiento (2.11), pero se debe garantizar que se haya realizado una adecuada distribución espacial en los almacenes que garantice su aprovechamiento máximo.

$$\sum_{s=1}^4 \sum_{o=1}^O IM_{oas} - g_a + h_a = C a_a, \forall a \quad (2.11)$$

Las expresiones (2.12)-(2.17) agrupan las restricciones de demanda. Se debe solicitar a los proveedores la cantidad de productos para suplir la demanda de los clientes, y ya que estos durante los procesos que transcurren pueden sufrir imprevistos que obliguen a considerarlos como merma, es prudente tener en cuenta este factor al solicitarlos, de igual manera se debe comprobar que los proveedores cuenten con la capacidad para abastecer los pedidos realizados.

$$\sum_{p=1}^P [(1 + k m_{os})(P s_{op} \cdot D p_{op})] - j_{os} + k_{os} = D_{os}, \forall o, s \quad (2.12)$$

A su vez, la cantidad de productos totales en almacén deben ser las existencias de cada producto que satisfagan la demanda, unido al inventario de seguridad de cada producto y a su merma³.

$$\sum_{o=1}^O \sum_{c=1}^C \sum_{a=1}^A Ot_{ocas} \leq (Ex_{os} + IS_{os})(1 + km_{os}), \forall s \quad (2.13)$$

La expresión (2.14) permite asegurar la cantidad de productos solicitados al proveedor contemplando que la cantidad de pedidos por clientes en el margen de tiempo de 30 días, estará en correspondencia con la existencia en el almacén para satisfacer al cliente.

$$\sum_{o=1}^O \sum_{c=1}^C Ex_{os} = Ps_{op} \cdot Cp_c - j_{os} + k_{os}, \forall s \quad (2.14)$$

Teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad para una norma de servicio de un 90%, la distribución diaria analizando su desviación estándar y la duración del ciclo del pedido, se contará con un inventario de seguridad que cubra un faltante en la distribución (2.15).

$$IS_{os} = (K_{S_{os}} \cdot DeD_{os} \cdot \sqrt{L} + \sqrt{L} \cdot Q_{oms} \cdot num_o) \quad (2.15)$$

Se puede conocer la cantidad de viajes necesarios para satisfacer cierta demanda de determinado producto o de c clientes, en función de la capacidad y cantidad de los medios disponibles adecuados para realizar la transportación de ese tipo de producto.

$$\frac{\sum_{o=1}^O Q_{oms} \cdot v_o \cdot nvm_o \cdot Md_{ms}}{Cv_m} - e_{ms} + f_{ms} = Nv_{ms}, \forall m, s \quad (2.16)$$

³ 1En la anterior expresión 2.13 se consideraba para todos los objetos tipo o, con el ajuste realizado se puede escoger todo o una cierta cantidad de estos, dando la posibilidad de un enfoque más detallado.

La cantidad de viajes que puede realizar un mismo medio de transporte se ve restringido por el fondo de tiempo con el que se cuenta (2.17), siempre al considerar que el término de un viaje equivale al de un ciclo pues a pesar de que este último puede contemplar varios viajes, para estas empresas se supone que el momento de carga se realiza en estas, parte hacia los distintos clientes donde se realizan las descargas en dependencia de las capacidades de los vehículos y la demanda de cada cliente, y una vez se concluya con la distribución para estos clientes, el medio retorna a la empresa para volver a cargar y emprender así un nuevo viaje o ciclo.

$$\sum_{s=1}^4 Mt_{ms} \geq \sum_{s=1}^4 \frac{Nv_{ms} \cdot tr_{rm}}{Fd_{m(i)s}}, \forall m, r \quad (2.17)$$

En las expresiones (2.18)-(2.20) se agrupan las restricciones de tiempo. La restricción (2.18) prioriza que el tiempo transcurrido desde la entrada al sistema de los productos hasta su salida esté dentro del plazo de caducidad de estos.

$$ts_o - te_o - l_o + n_o = Pv_o, \forall o \quad (2.18)$$

La expresión (2.19) asegura que el tiempo de preparación de los pedidos de los clientes no exceda el fondo de tiempo disponible.

$$tp \cdot Cp_c \cdot Cl_c - q + s = Fts_c, \forall c \quad (2.19)$$

Además para lograr la satisfacción de los clientes es necesario que la entrega de los pedidos se realice dentro del plazo establecido, por lo que es necesario efectuar las gestiones pertinentes para la preparación de los pedidos y su distribución de modo tal que se cumpla este plazo (2.20).

$$tp + (tr_{rm} \cdot Vp_{mc}) - t_c + w_c = Pe_{oc}, \forall c, m, r \quad (2.20)$$

Las expresiones (2.21)-(2.25) agrupan las restricciones económicas. Los gastos totales en los subsistemas corresponden a la suma de los gastos fijos y los variables (2.21).

$$\sum_{s=1}^4 GT_s = GFj_s + GVB_s - a + b, \forall m, o \quad (2.21)$$

Se consideró que los gastos fijos en los subsistemas contemplan el gasto de energía eléctrica, combustible y mantenimiento, así como el salario indirecto con su aporte a la seguridad social, el pago a terceros por servicios prestados y otros gastos monetarios (2.22).

$$\sum_{s=1}^4 GFj_s = E_f + Cmb_f + SI + ASS_{SI} + OGM + Mnt + Trz, \forall m, o \quad (2.22)$$

En la expresión (2.23) se desglosan los gastos variables presentes por subsistema, tales como: material directo, energía eléctrica y combustible, salario directo y su aporte a la seguridad social, el gasto de almacenamiento del producto, la documentación y el gasto por reposición de producto.

$$GVB_s = \sum_{s=1}^4 (MD + E_v + Cmb_v + SD + ASS_{SD}) + GAlm_{os} + Doc + Grp, \forall m, o \quad (2.23)$$

Las expresiones (2.24) y (2.25) son complementos de la anterior (2.23), la expresión (2.24) desarrolla el cálculo de costo de venta teniendo en cuenta el coeficiente de merma y el gasto de preparación y empaque de los productos.

$$MD = p_{ops} \cdot C_o(1 + km_{os}) + Gpe_{os} \quad (2.24)$$

El gasto de almacenamiento está relacionado con los costos del inventario de seguridad y el inventario retenido (2.25).

$$GAlm_{os} = IR_{os} + IS_{os}, \forall o \quad (2.25)$$

Se establece como límites, que las variables que expresan tiempo y capacidad son continuas y mayores o iguales a cero, y las variables que expresan cantidad respecto a las cantidades de OT, FT, MT y polivalencia son enteras y mayores o iguales a cero.

2.3. Conclusiones parciales

1. Aunque como consecuencia de la implementación del perfeccionamiento empresarial se han solucionado problemas en el sector empresarial, persiste la limitación en la disponibilidad de medios de trabajo, que unido a la masividad de productos a comercializar, genera limitaciones que dificultan el correcto desempeño de los SL. Las investigaciones analizadas, evidencian que predominan las restricciones físicas asociadas a los medios y objeto de trabajo, no así con la fuerza de trabajo que ha sido balanceada resultado proceso de reordenamiento laboral.
2. El perfeccionamiento del modelo estuvo enfocado hacia dos aristas: la social y la económica. La primera a través de su restricción permitirá la identificación oportuna al contemplar la diversidad de destinos sociales de los objetos comercializados y la segunda facilitará la eficiente identificación de las restricciones físicas a partir de ponderar la incidencia de estas en los gastos fijos y variables del SL.

Conclusiones generales

1. El análisis conceptual realizado sobre los sistemas logísticos en empresas comercializadoras, permitió afirmar que este adquiere rasgos propios entre los que destaca la incorporación del almacenamiento como subsistema logístico, así como la mayor complejidad en el proceso de toma de decisiones dada la diversidad de naturalezas en esta, lo que justifica que la gestión de sus recursos demande de la utilización de técnicas y métodos avanzados.
2. A partir del análisis realizado a las investigaciones que tributan a la modelación matemática en la logística, destaca el modelo multiobjetivo propuesto por Lao León (2017) el que se seleccionó como referente metodológico para el desarrollo de la investigación.
3. Derivado de su rol en el desempeño de los procesos del sistema logístico en una empresa comercializadora, es indispensable una gestión oportuna y eficiente de los recursos físicos (medio, fuerza y objeto de trabajo), como elementos potencialmente restrictivos, elementos no contemplados en el modelo por Lao León (2017).
4. La situación actual de las restricciones físicas en empresas comercializadoras del territorio holguinero que han sido objeto de investigación, corrobora el predominio de los medios y objeto de trabajo con énfasis en los primero y la ausencia de la fuerza de trabajo como elemento restrictivo, fruto del proceso de reordenamiento laboral.
5. El perfeccionamiento del modelo a través de una restricción con carácter social permite la identificación oportuna de las restricciones físicas al contemplar los destinos sociales de los objetos comercializados y la eficiente identificación mediante otra que pondera la magnitud en los gastos fijos y variables del sistema logístico, todo lo cual contribuye al incremento del nivel de servicio al cliente.

Recomendaciones

1. Aplicar del modelo perfeccionado en los sistemas logísticos donde se aplicó con anterioridad, con el objetivo de comparar los resultados y comprobar la superioridad de las mejoras realizadas.
2. Continuar perfeccionado el modelo en el área de la modelación matemática, con la implementación de restricciones en el modelo multiobjetivo que modelen el impacto medioambiental como contribución a un enfoque de sostenibilidad fuerte, la cual constituye un área insatisfecha en la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Suárez, José. (2008). *Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica*. (Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" La Habana, Cuba. Recuperado de: <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/> Tutor: Siegfried Heinz y Kerstin Röhrich
- Acevedo Suárez, José y Gómez Acosta, Marta. (2010). La logística moderna empresarial.
- Acevedo Urquiaga, Ana Julia. (2013). *Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Tutor: Acevedo Suárez, J. A. y Urquiaga Rodríguez, Ana Julia
- Ayala Bécquer, Pedro, Bustillo González, Ismael y Sánchez Fernández, Rene. (2005). Auditorías logísticas. Un nuevo enfoque en el control. *Logística Aplicada*, 9, 9-11,
- Baesler, Felipe, Ceballos, Luis y Ramírez, Milton. (2006). Programación multiobjetivo de máquinas moldureras a través de algoritmos matemáticos. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 8(3), 183-192, ISSN: 0717-364, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2006000300005>,
- Bautista Arias, Jorge Andres. (2014). *Análisis multicriterio para la toma de decisiones en la distribución del carbón obtenido de la zona cundiboyacence a puertos marítimos evaluando impactos ambientales, sociales y económicos*. (Trabajo de grado para optar por el título de Máster en diseño y gestión de procesos), Universidad de la Sabana. Recuperado de: [http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/10731/Jorge%20Andres%20Bautista%20Arias\(TESIS\).pdf?sequence=1](http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/10731/Jorge%20Andres%20Bautista%20Arias(TESIS).pdf?sequence=1) Tutor: César López
- Blanco Martínez, Maite. (2013). *Modelo matemático para determinar el plan de producción de la Empresa de Producciones Electromecánicas de Villa Clara*. (Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba. Tutor: Marrero Delgado, Fernando y Vinajera Zamora, Andrey
- Bolaños Ocampo, Ricardo Andrés, Correa Flórez, Carlos Adrián y Escobar Zuluaga, Antonio Hernando. (2009). Planeamiento multiobjetivo de la expansión de la transmisión considerando seguridad e incertidumbre en la demanda. [Multiobjective transmission expansion planning considering security and demand uncertainty]. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 74-78, ISSN: 0120-5609, Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092009000300012&lang=pt
- Bravo Urriga, Mauricio. (2015). *Modelo de programación matemática para el VRPPDTW multiobjetivo con flota heterogénea y propuesta de algoritmo evolutivo para su resolución*. (Tesis en opción al título académico de Máster en Ingeniería Industrial), Universidad de Concepción, Chile. Tutor:
- Castañeda Pérez, Carolina. (2016). *Esquema de optimización/Simulación para la evaluación multiobjetivo de sistemas de emergencia*. (Tesis para optar por el título académico de máster), Universidad de Antioquia, Medellín. Tutor:
- Cespón Castro, Roberto y Auxiliadora Amador, María. (2003). Administración de la cadena de suministros. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial.
- Coca Ortigón, Germán Augusto, Castrillón Gómez, Ómar Danilo y Ruiz Herrera, Santiago. (2013). METODOLOGÍA BASADA EN LOS ALGORITMOS VEGA Y MOGA PARA SOLUCIONAR UN PROBLEMA MULTI OBJETIVO EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN

- JOB SHOP. [Methodology based on the algorithms vega and moga to solve a multiobjective problem in a system of production job shop
 Metodologia baseada nos algoritmos vega e moga para resolver um problema multiobjetivo em um sistema de produção job shop]. *Revista EIA*(19), 175-191, ISSN: 1794-1237, Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372013000100016&lang=pt
- Costa Salas, Yasel J., Abreu Ledón, René, Machado Osés, Carlos y Coello Machad, Norge. (2010). Asistencia decisional en el proceso de optimización para el enrutamiento de vehículos *Ingeniería Industrial*, 31(1), 7, ISSN: 1815-5936,
- Cuadrado Guevara, Marlyn Dayana y Griffin Broadhead, Victor John. (2007). Modelos matemáticos para la optimización de la distribución de vehículos nuevos en Venezuela. Caso Clover International C.A. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 1(1), 53-, ISSN: 1856-8327,
- Dávila Vélez, Jimmy Gilberto y Ramírez Otero, Luis Felipe. (2012). Modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compras y periodos de pago. *El Hombre y la Máquina*, 38, 6-21, Recuperado de: <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/38%202012-1/38%20Articulo%2001.pdf>
- de Souza, F. B., Sobreiro, V. A., Nagano, M. S. y Manfrinato, J. W. D. (2013). When less is better: Insights from the product mix dilemma from the Theory of Constraints perspective. *International Journal of Production Research*, 51(19), 5839-5852, ISSN: 0020-7543, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.802052>, Recuperado de: <Go to ISI>://WOS:000325069700012
- Díaz Madroñero, Manuel, Peidro, David, Mula, Josefa y Ferriols, Francisco. (2010). Enfoques de programación matemática fussy multiobjetivo para la planificación operativa del transporte en una cadena de suministros del sector del automovil. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, IX, 44-68, ISSN: 1886-516X,
- Espinosa Núñez, Yoandri. (2007). *Desarrollo de un modelo matemático multiobjetivo para redes de transporte urbano*. (Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, Cuba. Tutor: Ávila Rondón, Ricardo y Tomás García, Luis Leonardo
- Feitó Cespón, Michael. (2015). *Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Villa Clara, Cuba. Recuperado de: <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/> Tutor: Roberto Cespón Castro
- Fernández Alfajarrín, Yoanner. (2009). *Procedimiento para la previsión de la demanda de suministros en empresas comercializadoras. Aplicación en la Tienda La Central del CIMEX, Sucursal Holguín*. (Tesis en opción al título de Master en Ingeniería Industrial. Mención Producción), Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. Tutor:
- Font Lara, Grethel Dayana. (2015). *Taxonomía de la identificación de las restricciones físicas en el sistema logístico en empresas comercializadoras del territorio holguinero*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. Tutor: Lao León, Yosvani Orlando
- Frota Neto, J. , Bloemhof-Ruwaard, J. M. , Van Nunen, J. y Van Heck, E. (2008). Designing and evaluating sustainable logist.,
- Garza Ríos, Rosario y González Sánchez, Caridad. (2001). Distribución de mercancías, una necesidad del comercio electrónico. *Ingeniería Industrial*, XXIII(2), 34-38, ISSN: 1815-5936, Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4786799.pdf>

- Garza Ríos, Rosario y González Sánchez, Caridad. (2004). Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, XXV(2), 26-29, ISSN: 1815-5936, Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4786712.pdf>
- Ghazinoory, S., Fattahi, P. y Samouei, P. (2013). A hybrid FRTOC-SA algorithm for product mix problems with fuzzy processing time and capacity. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(9-12), 1363-1370, ISSN: 0268-3768, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4262-5>,
- Godinho, M. y Uzsoy, R. (2014). Assessing the impact of alternative continuous improvement programmes in a flow shop using system dynamics. *International Journal of Production Research*, 52(10), 3014-3031, ISSN: 0020-7543, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.860249>, Recuperado de: <Go to ISI>://WOS:000333884600013
- Gómez Acosta, Martha. (1997). *La planificación y control del flujo logístico en empresas de producción contra pedidos de la Industria Mecánica*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba. Recuperado de: <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/> Tutor: José Antonio Acevedo Suárez
- Gómez Acosta, Martha y Acevedo Suárez, José. (2014). *Logística*. Artículo presentado en Curso de formación básica para profesores de Logística, La Habana, Cuba.
- Gómez Acosta, Martha y Acevedo Suárez, José (2001). *La Logística moderna y la competitividad empresarial*. Ciudad Habana, Cuba: Ediciones LOGESPRO.
- Gómez Acosta, Martha y Acevedo Suárez, José (2015). *Preparación metodológica para profesores de logística* Artículo presentado.
- Gómez Acosta, Martha, Acevedo Suárez, José Antonio, Pardillo Baez, Yinef, López Joy, Teresita y Lopes Martínez, Igor. (2013). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial [Characterization of the Logistics and the Value Nets in Cuban Companies in Managerial Improvement]. *Ingeniería Industrial*, XXXIV(2), 15, ISSN: 1815-5936,
- González González, Roberto. (2002). *El modelo de plataforma logística de petróleo en Cuba*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Tutor: Acevedo Suárez, J. A. y Gómez Acosta, Martha
- González Ricardo, Joaquin José. (2015). *Modelación multicriterio de los recursos restrictivos en los sistemas logísticos. Caso: EMCOMED Holguín*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. Tutor: Lao León, Yosvani Orlando
- Hajek, J. (2014). Product Mix Decisions with respect To TOC and Linear Programming. *8th International Days of Statistics and Economics*, 434-444,
- Herrera González, Yisel. (2013). *Procedimiento para la gestión del servicio al cliente en empresas comercializadoras de venta mayorista*. (Tesis en opción al título académico de master en administración de negocios), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Holguín, Cuba. Tutor:
- Hoff, Arild, Andersson, Henrik y Christiansen, Marielle (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*, 37(12), 10, DOI: 10.1016/j.cor.2010.03.015, Recuperado de: www.elsevier.com/locate/caor
- Jiang, X. Y. y Wu, H. H. (2013). Optimization of setup frequency for TOC supply chain replenishment system with capacity constraints. *Neural Computing & Applications*, 23(6), 1831-1838, ISSN: 0941-0643, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-013-1376-0>, Recuperado de: <Go to ISI>://WOS:000325809300029

- Kalenatic, Dusko. (1998). *Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras*. (Tesis presentada para optar al Título de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Villa Clara, Cuba. Tutor: Pérez, Gilberto Hernández
- Lao León, Yosvani Orlando. (2013). *Procedimiento para el perfeccionamiento de las funciones de la administración de operaciones en la EMPA Holguín*. (Master en Ingeniería Industrial), Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" Holguín, Cuba. Tutor: Pérez Pravia, Milagros
- Lao León, Yosvani Orlando. (2017). *Procedimiento para la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras*. (Doctor en Ciencias Técnicas), UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN, Holguín. Tutor:
- López Joy, Teresita. (2014). *Modelo y procedimiento para el desarrollo de la gestión integrada de cadenas de suministro en Cuba*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Tutor: Acevedo Suárez, J. A.
- Marrero Delgado, Fernando. (2001). *Procedimientos para la toma de dediciones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar. Aplicaciones en CAI de la provincia de Villa Clara*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. Tutor: Asencio García, Javier Alfonso y Cespón Castro, Roberto
- Marrero Delgado, Fernando, Asencio García, Javier, Cespón Castro, Roberto, Abréu Ledón, René, Orozco Sánchez, René y Sánchez Castillo, Juan. (2001). Aplicación de la toma de decisiones multicriterio en la cadena de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. *Ingeniería Industrial*, 22(3), 21-25, ISSN: 1815-5936, Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4786766.pdf>
- Martínez Delgado, Edith. (2003). *Modelo para la evaluación integral de un sistema de producción-distribución de medios biológicos aplicado a la agricultura urbana*. (Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de la Habana, Cuba. Tutor: Suárez, Dr. Ing. José A. Acevedo
- Mendoza, Abraham y Ventura, José A. (2009). Estimating freight rates in inventory replenishment and supplier selection decisions. *Logistic Resource*, 1, 185-196, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-009-0018-5>,
- Montoya, Oscar, Hincapié, Ricardo y Granada, Mauricio. (2016). Nuevo enfoque para la localización óptima de reconectores en sistemas de distribución considerando la calidad del servicio y los costos de inversión. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(1), 55-69, ISSN: 0718-3305, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000100006>
- Moreno, Alfredo, Álvarez, Aldair, Noble, Victor y López, Jorge. (2014). Optimización multiobjetivo del problema de distribución en planta: Un nuevo modelo matemático. *Ingeniería y competitividad*, 16(2), 257 - 267,
- Najera, Abel Garcia y Bullinaria, John A. (2011). An improved multi-objective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 38(1), 13, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2010.05.004>,
- Özdamar, Linet, Ekinci, Ediz y Küçükyazici, Beste. (2004). Emergency Logistics Planning in Natural Disasters. *Annals of Operations Research*, 129, 217-245, Recuperado de: <http://download.bion.com/view/upload/201104/06/223451qcpz0ucu1p0zd6pu.attach.pdf>
- Parada Curbelo, Annarella y Hernández Maden, Reynol. (2014). *Procedimiento para la mejora de la gestión logística de aprovisionamiento en empresas comercializadoras del sector*

- turístico en Matanzas*. Artículo presentado en 2do Taller Nacional de Ingeniería Industrial, Las Tunas, Cuba, ISBN: 978-959-16-2294-5.
- Pardillo Baez, Yinef. (2013). *Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Tutor: Gómez Acosta, Marta
- Pérez Campaña, Marisol. (2005). *Contribución al control de gestión en elementos de la cadena de suministros*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, Cuba. Tutor: Quintana Tápanes, Lázaro
- Pérez Pravia, Milagros Caridad. (2010). *Modelo y procedimiento para la gestión integrada y proactiva de restricciones físicas en organizaciones hoteleras*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, Cuba. Recuperado de: <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/> Tutor: Clara Marrero Fornaris y Reyner Pérez Campdesuñer
- Ródenas, Ricardo García, Marín, Angel y Patriksson, Michael. (2011). Column generation algorithms for nonlinear optimization. *Computers & Operations Research*, 38(3), 14, ISSN: 0305-0548, DOI: 10.1016/j.cor.2010.07.021, Recuperado de: www.elsevier.com/locate/caor
- Rodríguez Domenech, Yanet. (2016). *Modelo multiobjetivo para la gestión de los recursos físicos del sistema logístico en empresas comercializadoras*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. Tutor: Lao León, Yosvani Orlando
- Romero, Carlos. (1996). *Análisis de decisiones multicriterio* (1st ed.). Madrid, España: Isdefe, ISBN: 84-89338-14-0.
- Rong, Aiying y Grunow, Martin. (2009). Shift designs for freight handling personnel at air cargo terminals. *Transportation Research Part E*, 45, 725-739, ISSN: 1366-5545, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2009.01.005>,
- Sadiq, Rehan y Khan, Faisal I. (2006). An integrated approach for risk-based life cycle assessment and multi-criteria decision-making. *Business Process Management*, 12(6), 770-792, ISSN: 1463-7154, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/14637150610710927>,
- Saez Mosquera, Inty (2008). *Procedimiento y arquitectura de apoyo para la asistencia decisional de procesos estratégicos de gestión logística*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Villa Clara, Cuba. Tutor: Pérez, Dr.C. Ing. Gilberto Hernández
- Silva, Rafael Mozart da, Silva, Leandro Tomasin y Deus, André Diehl. (2014). Uma Análise das Contribuições da Logística Reversa de Pós-Venda nas Estratégias da Cadeia de Suprimentos a través dos conceitos da Teoria das Restrições (TOC). *Journal of Engineering and Technology Innovation*, 2(2), 3-20, ISSN: 2357-7797, Recuperado de: <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/innovae/article/viewFile/385/604>
- Sobreiro, V. A., Mariano, E. B. y Nagano, M. S. (2014). Product mix: the approach of throughput per day. *Production Planning & Control*, 25(12), 1015-1027, ISSN: 0953-7287, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2013.798705>,
- Soto de la Vega, Diego, Vidal Vieira, José Geraldo y Vitor Toso, Eli Angela. (2014). Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización. *DYNA*, 81(184), 28-35, ISSN: 0012-7353, Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/496/49630405004/>
- Toro Ocampo, Eliana Mirledy, Franco Baquero, John Fredy y Gallego Rendón, Ramón Alfonso. (2016). Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. *Ingeniería*,

- investigación y tecnología*, XVII(3), 357-369, ISSN: 1405-7743, DOI:
<http://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.006>,
- Torres Gemeil, Manuel, Daduna, Joahim R. y Mederos Cabrera, Beatriz. (2007). *Fundamentos generales de la logística* (Oca", Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Ed. 1era ed.). Ciudad Habana, Cuba y Berlín, Alemania., ISBN: 978-959-16-0531-3.
- Troncoso, Juan, Garrido, Rodrigo y Ibacache, Ximena. (2002). Modelos de localización de instalaciones: una aplicación para la producción y logística forestal. *Bosque*, 23(2), 57-67, ISSN: 0717-9200, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002002000200007>,
- Tsai, W. H., Chen, H. C., Leu, J. D., Chang, Y. C. y Lin, T. W. (2013). A product-mix decision model using green manufacturing technologies under activity-based costing. *Journal of Cleaner Production*, 57, 178-187, ISSN: 0959-6526, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.011>,
- Urbano Guerrero, Luz Carime, Muños Marín, Luz Stella y Osorio Gómez, Juan Carlos. (2016). Selección multicriterio de aliado estratégico para la operación de carga terrestre. *Estudios Gerenciales*, 32(138), 35-43, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.estger.2015.09.002>,
- Vega de la Cruz, Leudis. (2014). *Procedimiento para la modelación multicriterio de los recursos más representativos en los sistemas logísticos*.
(Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. Tutor: Lao León, Yosvani Orlando y Castellanos Pérez, Luis Orlando
- Zhang, X. M. y Du, Y. L. (2015). Research of Production Scheduling Based on Theory of Constraints. In Chan, K. y Yeh, J. (Eds.), *Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering* (Vol. 15, pp. 142-145). Paris: Atlantis Press, ISBN: 978-94-62520-71-4.
- Zhao, Zhenying, Ball, Michael O. y Kotake, Masahiro. (2005). Optimization-Based Available-To-Promise with Multi-Stage Resource Availability. *Annals of Operations Research*, 135, 65-84,