

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

MODELO DE ASIGNACIÓN DE EQUIPOS MONTACARGAS EN UN OPERADOR LOGÍSTICO EN COLOMBIA

Autor:

Ing. Derney Eduardo Sosa Marentes

Ingeniero Industrial

Universidad Católica de Colombia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ COLOMBIA

2018

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

MODELO DE ASIGNACIÓN DE EQUIPOS MONTACARGAS EN UN OPERADOR
LOGÍSTICO EN COLOMBIA

Autor:

Ing. Derney Eduardo Sosa Marentes

Ingeniero Industrial

Universidad Católica de Colombia

Trabajo de grado presentado

Como requisito para optar al título de

Magister en Ingeniería Industrial

Director:

Ph. D Mauricio Becerra Fernández

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ COLOMBIA

2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Activar Wi
Ve a Configur

Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 8 |
| 1. MARCO REFERENCIAL | 10 |
| 1.1 Desempeño de la logística a nivel mundial..... | 10 |
| 1.1.1 La logística en Colombia..... | 14 |
| 1.2 Modelos de asignación aplicados en centros de distribución..... | 19 |
| 1.2.1 Concepto de modelos de capacidades..... | 21 |
| 1.2.2 Concepto de modelos de asignación..... | 22 |
| 1.2.3 Concepto de PERT-CPM..... | 22 |
| 1.2.4 Concepto de almacenamiento..... | 23 |
| 1.2.5 Concepto de centros de distribución..... | 25 |
| 1.2.6 Concepto de Picking..... | 27 |
| 1.3 Publicaciones en base de datos científicas | 27 |
| 1.3.1 Localización de almacenes..... | 29 |
| 1.3.2 Cadena de abastecimiento y control de inventario..... | 34 |
| 1.3.3 Enrutamiento y modelos no lineales..... | 37 |
| 1.3.4 Modelo de Capacidad..... | 41 |
| 1.3.5 Modelo aplicado en Producción..... | 43 |
| 1.3.6 Modelos aplicados en pert y cpm..... | 44 |
| 2. Metodología..... | 46 |
| 2.1 Representación de la asignación de equipos..... | 46 |
| 3. Desarrollo del modelo de asignación de equipos montacargas | 49 |
| 3.1 Problema..... | 49 |
| 3.2 Hipótesis..... | 50 |
| 3.3 Características del modelo..... | 50 |
| 3.3.1 Criterios del modelo..... | 52 |
| 3.3.2 Interpretación de las variables de entrada..... | 54 |
| 3.3.3 Modelo simplex..... | 56 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| | 5 |
| 3.3.4 Modelo ejecutado..... | 59 |
| 3.3.5 Construcción modelo Matlab..... | 62 |
| 3.3.6 Resultados del modelo..... | 63 |
| 4 Conclusiones..... | 76 |
| 5 Referencias..... | 78 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Países con mejor desempeño logístico..... | 12 |
| Tabla 2. Variables y restricciones | 61 |
| Tabla 3. Valores de las variables del modelo escenario Número 1..... | 64 |
| Tabla 4. Valores de las variables del modelo escenario Número 2..... | 71 |

Índice de figuras

| | |
|---|--|
| Figura 1. Estructura Marco Referencial..... | 10 |
| Figura 2. Características de la cadena de Logística. | 11 |
| Figura 3. Tendencia de exportación e importación de servicios..... | 13 |
| Figura 4. Posición de transporte, almacenamiento y comunicación | 15 |
| Figura 5. Estructura de clase de modelos..... | ¡Error! Marcador no definido. 0 |
| Figura 6. Tipos de almacenes..... | ¡Error! Marcador no definido. 3 |
| Figura 7. Clasificación de modelos..... | ¡Error! Marcador no definido. 7 |
| Figura 8. Tendencia de publicación de artículos..... | 28 |
| Figura 9. Representación procedimiento de recepción | 46 |
| Figura 10. Representación procedimiento de despacho..... | ¡Error! Marcador no definido. 7 |
| Figura 11. Representación procedimiento de acondicionamiento | ¡Error! Marcador no definido. 9 |
| Figura 12. Representación vista superior del área de trabajo | 51 |
| Figura 13. Representación modelo PERT Fuente. Ésta investigación..... | 52 |
| Figura 14. Principales áreas a trabajar dentro del modelo | 53 |
| Figura 15. Resultados de tiempos y balance | 65 |
| Figura 16. Resultados de tiempos y Numero de productos terminados | 66 |
| Figura 17. Resultados de tiempos de cada trayecto entre las líneas..... | 67 |
| Figura 18. Resultados productos terminados o empacados de cada línea..... | 68 |
| Figura 19. Resultado del uso del montacargas..... | 69 |
| Figura 20. Resultados de tiempos y balance escenario número 2..... | 71 |
| Figura 21. Resultados de tiempos y Numero de productos terminados escenario número 2..... | 72 |
| Figura 22. Resultados de tiempos de cada trayecto entre las líneas escenario número 2 | 73 |
| Figura 23. Resultados productos terminados o empacados de cada línea escenario número 2 | 73 |
| Figura 24. Resultado del uso del montacargas escenario número 2..... | 74 |

Introducción

Con la apresurada apertura comercial de Colombia a raíz de la variabilidad de tratados comerciales, la logística se convierte en una variable primordial para competir en el mercado, desarrollando capacidades logísticas como: una infraestructura básica apropiada y unos servicios competitivos de transporte, almacenamiento y despacho de cargas permitiendo optimizar los tiempos y costos de transporte, almacenamiento y distribución de materias primas, partes y productos terminados, desde la empresa hasta el consumidor final, de acuerdo con las estrategias de negocios y los modelos operativos de las empresas.

Lamentablemente podría decirse que hay falencias que se están mejorando en la infraestructura en el sector de transporte de carga en Colombia, posiblemente se lograría una transformación productiva con el desarrollo de capacidades, por lo cual se requiere de la coordinación de actividades que involucran tanto agentes públicos como privados estén totalmente sincronizados.

Si se impulsa todas las conexiones, Colombia tendría un país seguramente con mayor productividad, porque reduciría las distancias entre sus centros de consumo y de producción, permitiéndole posicionar sus productos a menores precios en mercados internacionales: más grandes, más diversos y más sofisticados. Igualmente podrá aprovechar las ventajas del comercio interno, fomentando la especialización regional como motor de crecimiento económico y de empleo.

Actualmente las organizaciones tanto pequeñas como grandes son conscientes de la importancia y criticidad de sus centros de distribución y los ven como una real plataforma

logística de sus ventas y como garantía y aseguramiento del nivel de servicios que se pretende aplicar en sus estrategias logísticas añadiendo la importancia de los centros de distribución como factor clave de éxito, teniendo en cuenta todo lo que influya positiva y negativamente sobre estos procesos.

Esta investigación se enfoca en la asignación de montacargas en los centros de distribución aplicada en un operador logístico, partiendo de los datos históricos (tiempo base) se analiza el comportamiento del sistema. Presentándose como una propuesta para las empresas pequeñas y medianas del sector logístico y del sector de servicios que mantienen características similares a la presentada en este trabajo resaltando la importancia del impacto de la toma de decisiones.

En el modelo realizado a través de programación lineal, gerencia de proyectos PERT y/o CPM se evidencia una entrega de tiempos y cantidades de carga donde se comprende de manera sencilla la solución del funcionamiento para cierto número de montacargas y la cantidad requerida dentro del centro de distribución o planta de producción.

De esta forma se puede mejorar la eficacia de las actividades ya que se reconocen, se controlan y se les dan manejo a variables de la operación, unidades y del montacargas durante cierto tiempo, durante el proceso de entrada y salida. O por el contrario se puede detectar alguna falla dentro del sistema como puede ser alguna línea que no cumpla con lo señalado.

Es un método económico de aplicación para cualquier empresa, que requieran resolver problemáticas relacionadas a la metodología del manejo de montacargas, con la posibilidad de potencializar el sistema ya que este modelo es permisible a una ejecución de mayor nivel donde integra un proceso con conocimientos de programación de sistemas para llegar a una interfaz gráfica para entregar un paquete o una aplicación robusta.

1. MARCO REFERENCIAL

El desarrollo de esta investigación se presenta en la figura 1, en el cual se describe el enfoque práctico que examina de manera global la logística y su impacto. Se presente de igual manera un enfoque teórico que ostenta una exploración de los modelos desarrollados por diversos estudios.

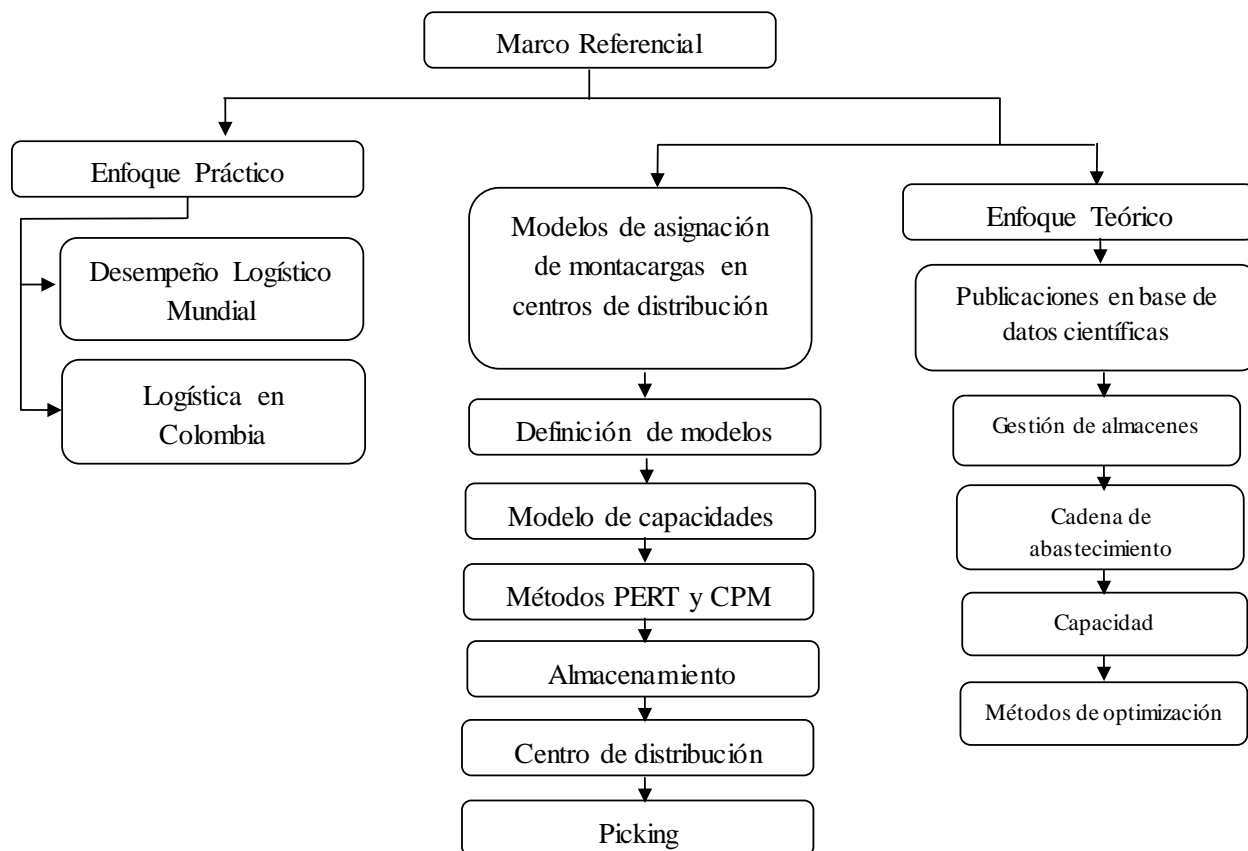


Figura 1. Estructura Marco Referencial.

1.1 Desempeño de la logística a nivel mundial

Según una nota de la Secretaría emitida por la Organización Mundial del Comercio, describe el servicio de logística, como la cadena logística que tiene tres grandes segmentos:

Almacenamiento, Tránsito y Logística contractual. En la figura 2 se detallan las características de la cadena de logística.

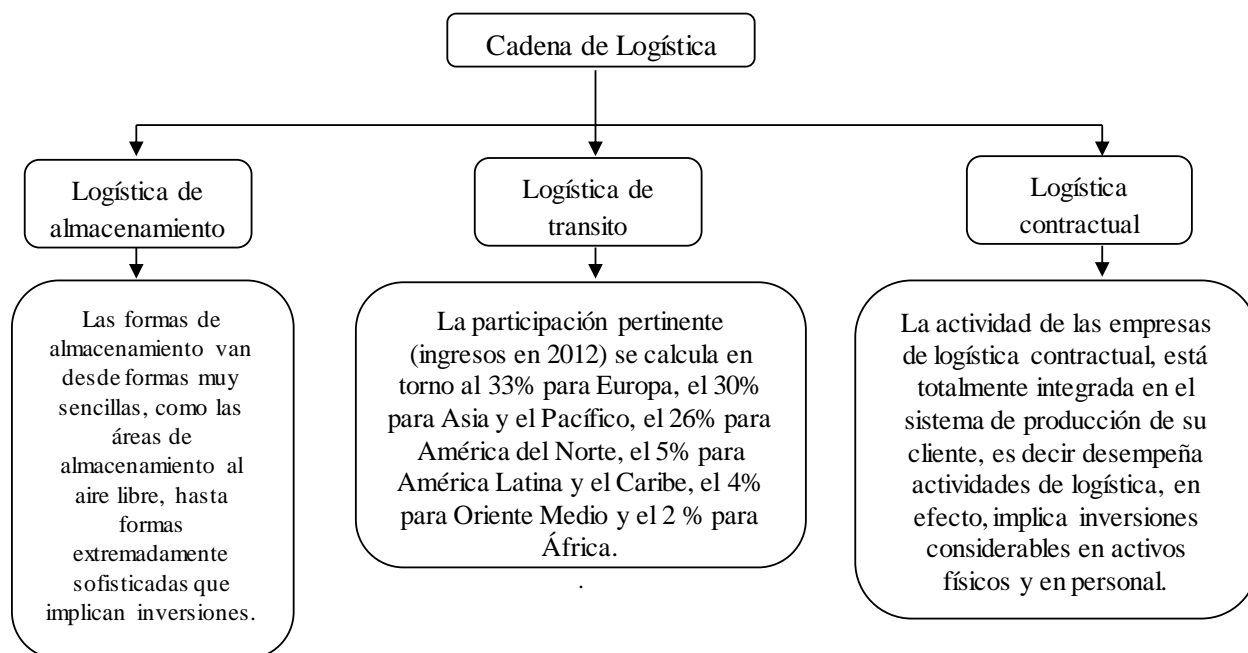


Figura 2. Características de la cadena de Logística. Ésta investigación con base en el artículo de la OMC.

Con base a la importancia de la estructura económica y marco reglamentario de cada tipo de logística, se analiza el estado y su desarrollo con el tiempo, por esta razón para entrar a examinar, se parte de los años 2007 al 2012 donde el Banco Mundial menciona la disminución en el desempeño de la logística comercial, en medio de la recesión mundial y la crisis de la deuda europea. Aunque, según el LPI, las economías de ingreso alto están mejor ubicadas en la clasificación de logística, mientras que las economías con peor desempeño son países menos desarrollados y por lo general sin litoral, islas pequeñas o Estados que salen de un conflicto.

Para este año 2018, se proyecta grandes aspiraciones, así como lo concibe el gerente del Banco de la República, Juan José Echavarría, quien dijo que “la economía del país se expandiría un 3 por ciento, una proyección que supera la estimación oficial de 2,7 por ciento del organismo

emisor. El funcionario resaltó que el desempeño del Producto Interno Bruto (PIB) en el 2018 sería significativamente mejor al del año pasado, cuando habría crecido entre un 1,6 por ciento y un 1,8 por ciento.” (Portafolio.co, 2018)

Entendiendo el entorno, en la tabla 1, Alemania, Luxemburgo y Suecia están entre los primeros en la categoría de países de ingreso mediano alto, en lo que corresponde a países de ingreso mediano alto Sudáfrica, China y Malasia, para los países de ingreso mediano bajo India, Kenia y Egipto se encuentran en esta categoría y finalmente Uganda, Tanzania y Ruanda figuran entre los países de ingreso bajo”

Tabla 1

Países con mejor desempeño logístico

| Ingreso alto | Ingreso Mediano-alto | Ingreso mediano-bajo | Ingreso bajo |
|--------------|----------------------|----------------------|--------------|
| Alemania | Sudáfrica | India | Uganda |
| Luxemburgo | China | Kenia | Tanzanía |
| Suecia | Malasia | Egipto | Ruanda |

Clasificación del año 2016 del Banco Mundial

Sobre la base de las consideraciones anteriores; un informe publicado en el 2014 por el Banco Mundial sobre el índice de desempeño Logístico, menciona que la brecha entre los países que tienen el mejor y el peor desempeño en materia de logística comercial continúa siendo grande, esto persiste debido a la complejidad de las reformas e inversiones vinculadas a la logística en los países en desarrollo, “El informe, titulado *Connecting to Compete 2014: Trade*

Logistics in the Global Economy realiza una clasificación de 160 países en una serie de dimensiones del comercio a las que se atribuye una creciente importancia para el desarrollo, entre ellas: el desempeño de las aduanas, la calidad de la infraestructura y la puntualidad de los envíos. Los datos provienen de más de 1000 cuestionarios contestados por 1000 profesionales de la logística internacional en todo el Mundo” (Mundial G. B., 2014).

Aunque, según el balance del año 2016, en los últimos seis años “los 10 países con mejor desempeño, entre los que se incluyen actores dominantes en el sector de la cadena de suministro, han sido prácticamente los mismos. Las economías de ingreso bajo peor clasificadas suelen ser países sin litoral, pequeños Estados insulares o países que salen de un conflicto” (Banco Mundial, 2016).

El informe realizado por el Banco Mundial indica que la tendencia en las publicaciones anteriores ha sido que los países mejoran, y los países de desempeño bajo incrementan sus puntajes generales con mayor rapidez que los países de rendimiento alto. Menciona el informe del Banco Mundial, “que la Organización Mundial del Comercio (OMC) ultimó los detalles de un acuerdo de facilitación del comercio que fija los parámetros para tener procedimientos aduaneros más rápidos y eficientes y contiene disposiciones para la asistencia técnica y la capacitación en esta área” (Mundial G. B., 2014)

Se podría decir que todos los países deben seguir adoptando estrategias de todo tipo, como: infraestructura, gestión en las fronteras, reducción de distancia y costos en las operaciones, para estar en una mejora constante.

1.1.1 La logística en Colombia.

A cerca de la logística en Colombia, se presenta en la figura 4 la tendencia ascendente y progresiva de exportaciones e importaciones de servicios que influyen en Colombia.

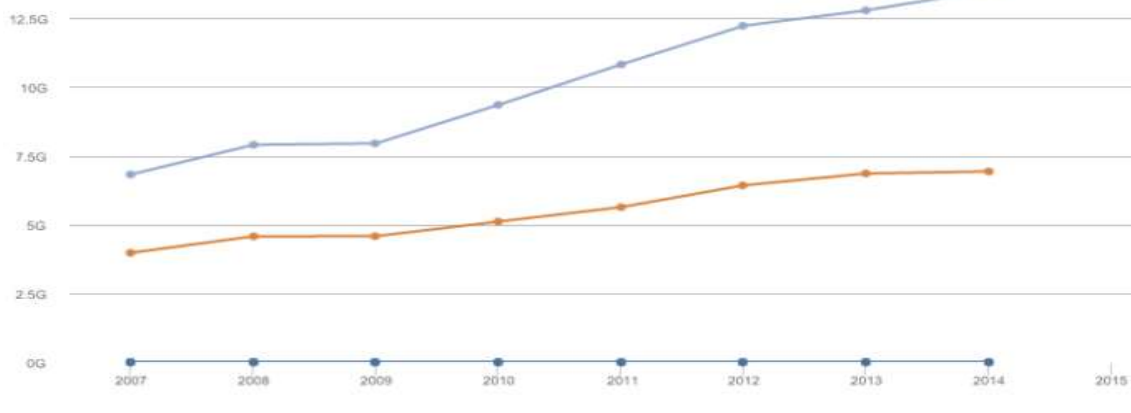


Figura 3. Tendencia en exportación e importación de servicios. Ésta investigación con base en la información del Banco Mundial

En la gráfica, la tendencia de color azul representa las importaciones de bienes y servicios que evidentemente mayor a las exportaciones que están representadas de color naranja, estos datos están limitados del 2007 al 2014.

Los datos presentados proceden de las encuestas del Índice de Desempeño Logístico realizadas por el Banco Mundial, en asociación con instituciones académicas e internacionales, compañías privadas e individuos involucrados en la logística internacional, basándose en la información por el Foro Económico Mundial se obtiene lo siguiente:

“Colombia avanza en el desarrollo de los mercados financieros, el desempeño del país es relativamente estable a través de otros pilares, con ligeras mejoras en la mayoría de las dimensiones en comparación con el año pasado, incluyendo la sofisticación empresarial y la salud y la educación, si bien a una posición baja. Sin embargo, nuevas mejoras en la calidad del sistema educativo, sobre todo en matemáticas y ciencias, es crucial para generar la capacidad para innovar y la diversificación de la economía. Las reformas estructurales para fomentar la competencia y mejorar la infraestructura, específicamente la calidad general de transporte, mejoraría aún más la competitividad” (Mundial F. E., 2015)

En cuanto al Índice de Competitividad Global, Colombia se encuentra en el rango 61 de 140, con una puntuación de 4.3.

Considerando la información anterior y comparándola con un artículo publicado por la revista Dinero, en el mes de junio de 2015, se fija el crecimiento del PIB para el primer trimestre de 2015, el cual fue de 2,8%, cifra similar a lo esperado por el Banco de la República, se menciona que Colombia no registraba un crecimiento tan bajo desde el primer trimestre de 2013, momento en que anotó un incremento de 2,9%. El dato aunque evidencia desaceleración en la economía del país, continúa dejando a Colombia en el primer puesto de crecimiento entre los países de América Latina.

El déficit de infraestructura se traduce en altos costos logísticos, equivalentes al 23% del PIB, en comparación con Chile en donde dichos costos representan el 18% del PIB. Por lo tanto, cerrar la brecha en infraestructura de transporte constituye uno de los grandes retos que enfrenta el Gobierno de Colombia y el Sector Transporte. El esfuerzo del Gobierno Nacional por aumentar la inversión en el Sector Transporte dio como resultado

durante el cuatrienio 2010 - 2014 un aumento significativo en la inversión en infraestructura. El PIB del sector constructivo ha presentado un comportamiento positivo entre 2011-2013 pasando de un crecimiento del 6,0% en el 2012 a 9,8% en el 2013, consolidándose, así como el sector que más impulsó la inversión y el crecimiento nacional durante el 2013, El aspecto de Transporte y Almacenamiento no aumenta a la contribución en el total de la producción nacional, pesa igual al primer trimestre de 2014 que equivale al 7,3%. Este sector solo creció 2,5% y es el dato más bajo reportado desde el primer trimestre de 2013. “ (Desarrollo, Plan Nacional de, 2014)

Ahora bien, al tener en mención el punto anteriormente mencionado, con respecto a los datos del DANE (ver Figura 4) se determina que:

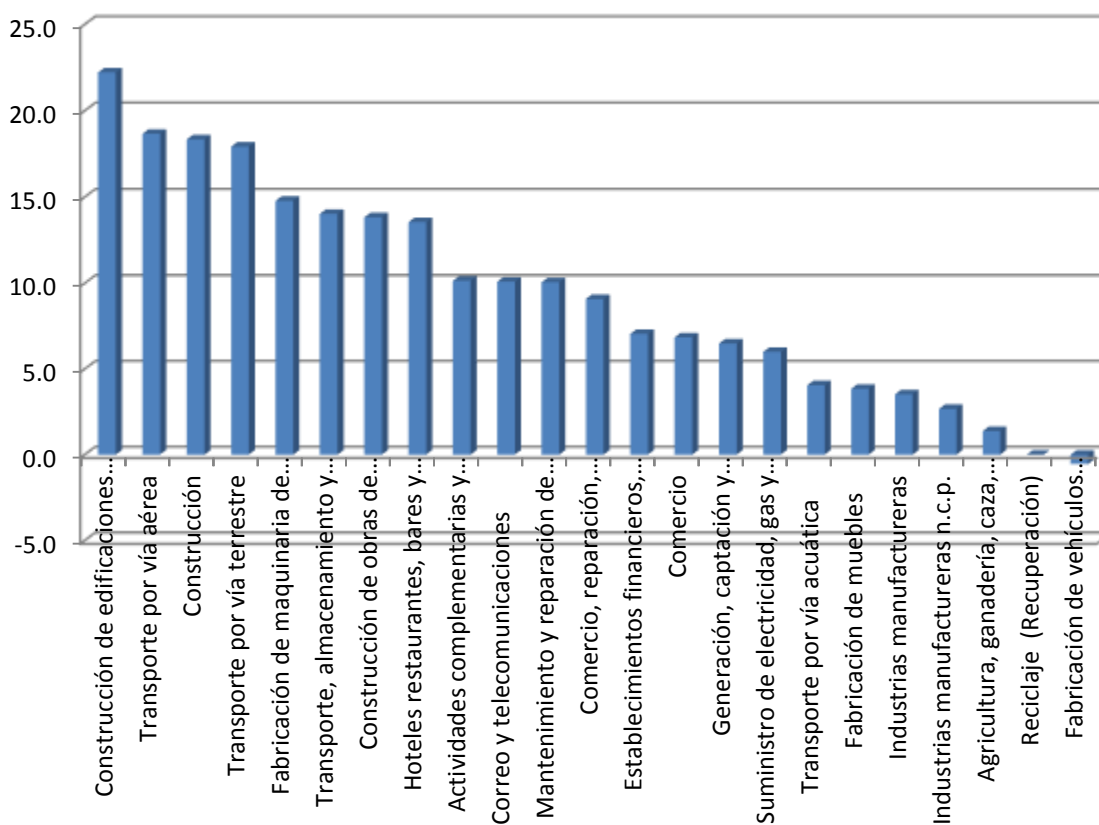


Figura 4. Posición de transporte, almacenamiento y comunicación. fuente. Ésta investigación con datos estadísticos del DANE

El aspecto de Transporte, almacenamiento y comunicaciones, se encuentra en el sexto puesto con un valor de 14,0 %, de la tasa de crecimiento del valor agregado que da a la actividad económica y PIB según la Clasificación de Cuentas Nacionales. En el primer, segundo, tercero, cuarto y quinto puesto se halla la construcción de edificaciones completas y de partes de edificaciones, acondicionamiento de edificaciones con 22,2%, transporte con 18,7%, construcción con 18,3%, Transporte por vía terrestre con 17,9% y fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática; fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos; aparatos de radio, televisión y comunicaciones; fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión con 14,8% respectivamente.

De acuerdo al Reporte de Competitividad Global 2014 - 2015 de la OECD,

“la infraestructura de transporte de Colombia se encuentra por debajo de los países desarrollados, los países emergentes asiáticos y algunos países latinoamericanos. Colombia en carreteras ocupa el puesto No. 126, en líneas férreas el puesto No. 102, en puertos el puesto No. 90 y en aeropuertos el puesto No. 78. El atraso en la provisión de infraestructura logística y de transporte ha sido señalado en repetidas ocasiones como uno de los principales obstáculos para el desarrollo económico y la consolidación de la paz en Colombia: genera altos costos que encarecen los productos locales, restándoles competitividad; frena la integración regional, generando regiones auto-contenidas y desaprovechando los beneficios del comercio interior y la especialización; frena el crecimiento del campo al encarecer el transporte de los productos a los principales centros de consumo; e incluso dificulta la presencia del estado en muchas zonas del país a través

de la prestación de servicios básicos como educación, salud y seguridad.” (Desarrollo, Plan Nacional de, 2014)

Los costos logísticos juegan un papel fundamental en la competitividad del País, asegura director del DNP, Simón Gaviria Muñoz ya que las principales barreras que impactan la logística son los altos costos de transporte y la infraestructura (vial, de puertos y aeropuertos), con el 32,3 y el 21,1 por ciento, respectivamente Así lo reveló el director del Departamento Nacional de Planeación (DNP), Simón Gaviria Muñoz, al presentar un adelanto de los resultados arrojados por la Encuesta Nacional Logística coordinada por la entidad, que actualiza la realizada en el 2008, A estas barreras, en términos de logística se suma que dos de cada 10 pedidos llegan tarde a su destino mientras que el 92,2% de las entregas se hacen completas y el 77,3 por ciento, además de ser completas, llegan a tiempo. (Planeación, Departamento Nacional de, 2015)

Conviene subrayar la situación de empleo, la cual fue de un dígito en agosto de 2014, con un porcentaje de 8,9% siendo este el cuarto agosto consecutivo en que se registra una tasa de desempleo de un dígito, según lo anunciado por el Director del Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE, Mauricio Perfetti del Corral.

Esta buena posición, se evidencia en los 46.942 puestos de las cuales 36.494 correspondieron a personal permanente, 8.880 a personal temporal contratado directamente por las empresas y 1.568 a otro tipo de vinculación. Así mismo, estas empresas pagaron \$773,7 miles de millones en sueldos y salarios y, \$427,3 miles de millones en prestaciones sociales. La remuneración promedio por persona en el año fue de \$25,7 millones (Corral, 2015).

De otra parte, “el transporte fluvial que en el año 2002 movilizó 3,5 millones de toneladas (el 2,9 % del total nacional), bajó su participación al 1,0% en el año 2013,

cuando movilizó 2,9 millones de toneladas a través de los 18.225 km de red fluvial navegable. El modo férreo transportó en 2013 el 27,5% de la carga nacional, presentando un crecimiento del 30% frente a la carga movilizada en 2009. El Sistema Férreo Nacional cuenta con una longitud de 3.344 km de los cuales, 1.610 km se encuentran a cargo de la ANI, y los restantes 1.734 km a cargo del INVIAS” (Desarrollo, Plan Nacional de, 2014).

En cuanto al informe de las importaciones, de acuerdo con las declaraciones registradas ante la Dian, el gerente del Banco de la República, Juan José Echavarría, menciona que en enero del 2018 las compras externas aumentaron 10,4% con relación al mismo mes del 2017, al pasar de US\$3.530,2 millones CIF en enero del 2017 a US\$3.895,9 millones CIF en el mismo mes del 2018.

1.2 Modelos de asignación aplicados en centros de distribución

Preliminarmente al examinar los conceptos o criterios de modelos de asignación, se destaca la definición de modelo por el Autor Ogata, “refiere un modelo matemático de un sistema dinámico como un conjunto de ecuaciones que representan la dinámica del sistema con precisión o, al menos, bastante bien. Un sistema puede representarse de muchas formas diferentes, por lo que puede tener muchos modelos matemáticos, dependiendo de cada perspectiva” (Ogata, 2003, pág. 102).

En el caso de Robert, “un modelo es la representación de un objeto, sistema o idea en alguna forma diferente a la realidad, o sea una abstracción que tiene las características sobresalientes o relevantes del objeto, sistema o idea, un modelo de un sistema puede ser definido como la representación simplificada de las relaciones del sistema, puede incluir las relaciones de causa y

efecto, las relaciones de decisión y respuesta, los flujos o recorridos y las relaciones o distribuciones en el espacio” (Robert Bateman, 1992, pág. 176).

El propósito de un modelo es usualmente el de entender, explicar o comunicar, predecir, entrenar, controlar o mejorar el comportamiento del sistema modelado mediante la experimentación.

Los modelos matemáticos pueden ser descriptivos (colas) o prescriptivos (programación lineal) o también determinísticos o estocásticos. Otra forma de clasificarlos es entre estáticos o dinámicos.

Según Robert, para modelar sistemas dinámicos propone la siguiente clasificación:

- ❖ Modelos simbólicos
- ❖ Modelos analíticos
- ❖ Modelos de simulación

El modelo de simulación se puede definir como una técnica en la cual se capturan las relaciones de causa y efecto de un sistema en un modelo realizado con un software, con el cual se puede generar el mismo comportamiento del sistema real. Los modelos de simulación producen un registro histórico y un resumen estadístico de los resultados obtenidos durante un determinado periodo de tiempo.

J Banks, “proyecta los tipos de modelos físicos y matemáticos, traza el modelo de un sistema como el estudio del sistema para comprender la relación entre componentes y predecir como operará bajo nuevas políticas, como una representación de dicho sistema con el propósito de estudiarlo” (J Banks, 1996). (Ver Figura 5)

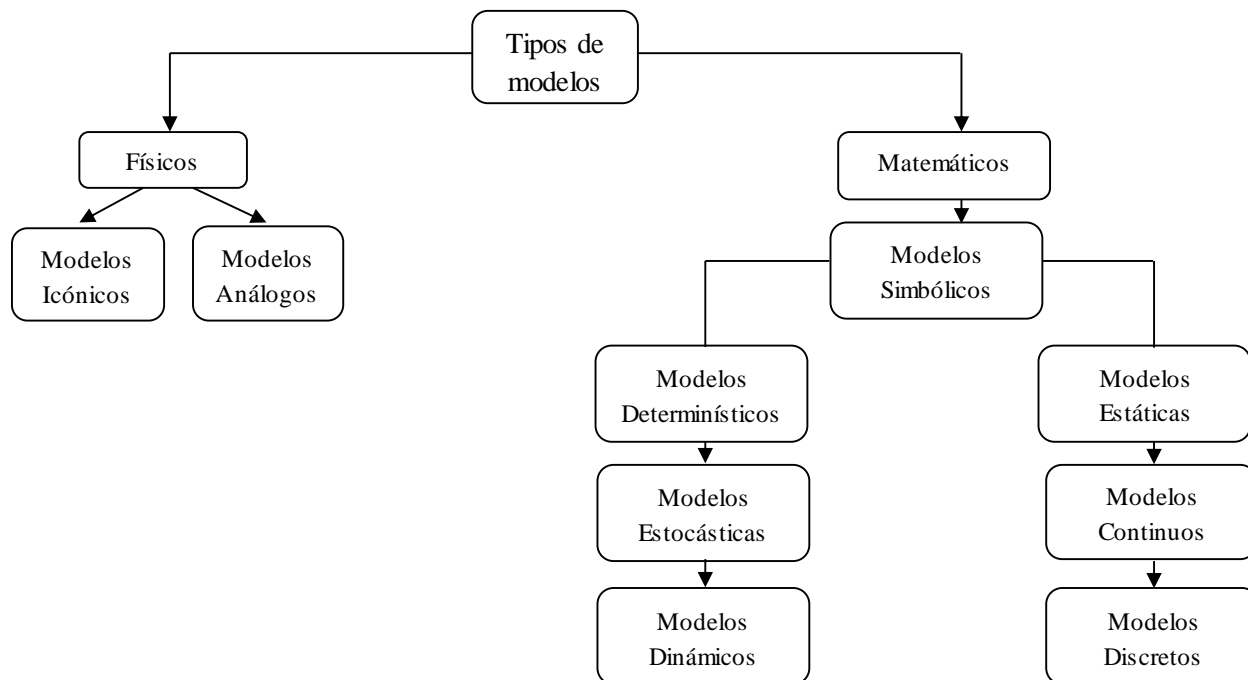


Figura 5. Estructura de clases de modelos fuente. Ésta investigación con base a Banks, Carson y Nelson.

1.2.1 Concepto de modelos de capacidades.

Para Ritzman capacidad, “es la tasa de producción máxima de una instalación estación de trabajo u organización entera” (Ritzman, 2000, pág. 299). El autor Jr expresa que “la capacidad es cuánto puede fabricar un sistema de producción” (Jr, 1998, pág. 177).

Según R.B Chase precisa la capacidad, “como la cantidad de producción que un sistema puede conseguir durante un periodo. Es un establecimiento de servicios puede representar la cantidad de consumidores que pueden atender” (R.B Chase, 2005, pág. 244).

Spearman asegura que la capacidad es el “límite máximo en el rendimiento de un proceso de producción. La liberación de órdenes de trabajo en el sistema por encima o por debajo de la capacidad hace el sistema se vuelva inestable, sólo algunos sistemas especiales pueden operar de manera estable a su máxima capacidad” (Spearman, 2001, pág. 216).

Por otro lado, Evans advierte que la capacidad es “la suficiencia de un recurso de manufactura o de servicio (instalación, proceso, estación de trabajo o pieza de equipo), para lograr un

propósito durante un periodo definido. Se puede considerar como el índice máximo de producción por unidad de tiempo o como unidades de la disponibilidad de un recurso (Evans, 1994, pág. 55).

1.2.2 Concepto de modelos de asignación.

Como bien lo plantea Burkard, “los problemas de asignación; tratan de resolver la pregunta de cómo asignar n ítems (trabajos, estudiantes) a otros m ítems (maquinas, tareas)” (Burkard, 2009, pág. 2).

Liberman, “propone un modelo el cual menciona los problemas de transporte en donde los orígenes se convierten en los asignados y los destinos son las asignaciones o tareas. El objetivo del modelo es la minimización de los costos totales de las asignaciones a las diferentes tareas”(Liberman, 2002).

1.2.3 Concepto de PERT-CPM.

El método del camino critico (CPM) fue desarrollado en 1957 por J.E. Kelly y M.R Walker para proyectos de mantenimiento en una planta química de la multinacional Du Pont y sigue contando en la actualidad con una gran utilización en la gestión de proyectos.

Se denomina actividad a:

Cada una de las tareas o trabajos necesarios para realizar el proyecto y acontecimientos, sucesos o nudos al inicio o finalización de cada actividad. Las actividades se representan mediante una flecha recta y los sucesos se representan mediante círculos (originalmente el método CPM representaba las actividades mediante círculos, aunque en la actualidad se ha optado por la flecha, como se proponía en el método PERT) Todo proyecto comienza con

único suceso y finaliza en un único suceso, es decir, nunca puede haber más de un nudo o suceso inicial o final. (TOMÁS MANUEL BAÑEGIL PALACIOS, 2015, pág. 44).

Así como lo menciona Viquez, “las redes se emplean en general para garantizar un mejor control sobre las operaciones, se tiene la certeza de que la evaluación será eficiente y se pueden introducir los ajustes que sean necesarios dependiendo el proceso. El análisis que se hace con las redes será eficaz en tanto que sea rápido y permita detectar y corregir anomalías o errores en el proceso” (Viquez, 1999, pág. 67).

1.2.4 Concepto de almacenamiento.

El almacenamiento es el conjunto de actividades que se realizan para guardar artículos desde que se producen hasta que se necesitan. El almacenamiento es un servicio muy valioso que puede aportar enormes beneficios a las entidades que logren controlarlo, a continuación en la figura 6 se demuestra los tipos de almacenamiento según la función de la empresa (Gustavo Ordoñez Quintana y Ernesto Quiroga Gutiérrez, 1992)

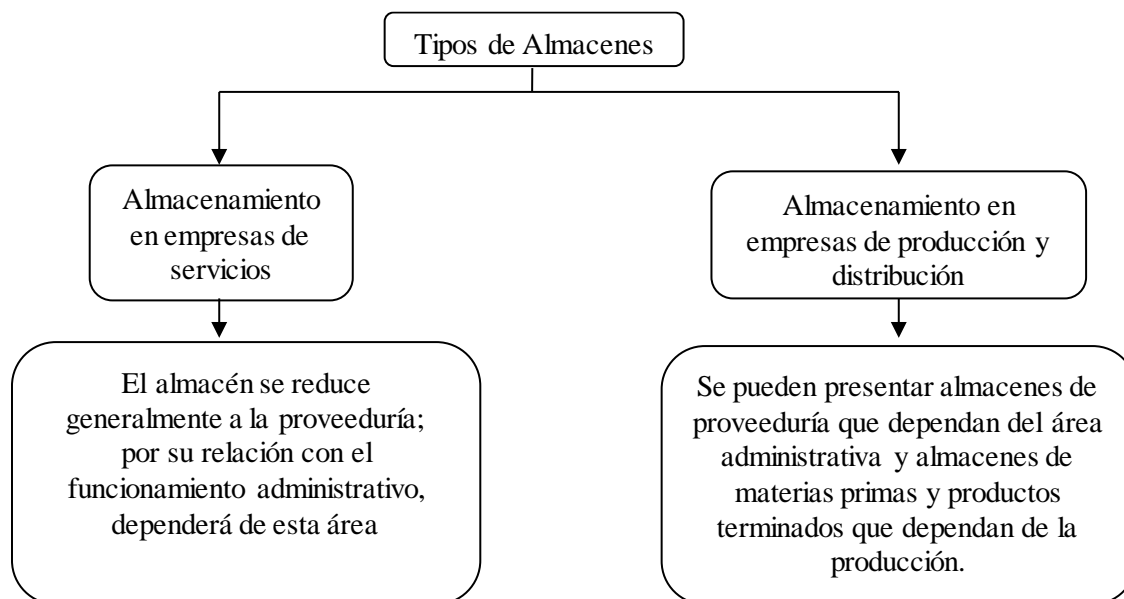


Figura 6. Tipos de almacenes fuente. Ésta investigación con base a Gustavo Quintana y Ernesto Quiroga, 1992

Para García,

Una bodega o almacén pueden definirse como un espacio planificado para ubicar, mantener y manipular mercancías y materiales, dentro de esta definición hay dos funciones dominantes: el almacenamiento y el manejo de materiales. El papel que tiene una bodega en el ciclo de abastecimiento de la empresa depende de la naturaleza de la misma. En algunos casos será un punto de paso donde se descompone el flujo de materiales conformado por unidades de empaque para poder despachar las cantidades que necesitan los clientes. El almacenamiento en este caso, no tiene tanta relevancia como el manejo de materiales. (García, 2011, pág. 34)

Las actividades físicas que se desarrollan en el proceso de almacenamiento son:

- ❖ Recepción
- ❖ Almacenamiento
- ❖ Preparación de pedidos
- ❖ Expedición o despacho

El almacenaje no es un sector operativo, por sí mismo, pero constituye un servicio que actúa a favor del sector comercial y el objetivo fundamental de dicho servicio es el de suministrar los productos necesarios en justa calidad y cantidad, García, precisa que en el momento exacto y con los menores costos la función del almacenaje comprende el complejo de operaciones que tiene por objeto el ocuparse de los materiales que la empresa mueve, conserve y manipula para la consecución de sus fines productivos comerciales (García, 2011, pág. 36).

Uno de los aspectos fundamentales del proceso logístico, es la función de almacenamiento en los centros de distribución o bodegas además de guardar la mercancía, protegerla y conservarla adecuadamente en un periodo de tiempo y facilitar la labor de despacho cuando se requiera.

1.2.5 Concepto de centros de distribución.

Centro de distribución se considera como el lugar de almacenamiento que recibe, almacena y despacha productos a vario usuarios que pueden ser consumidores finales, centros de distribución regionales (bodegas de campo) y establecimientos que a su turno reciben, almacenan y despachan productos hasta el usuario final. (Gustavo Ordoñez Quintana y Ernesto Quiroga Gutierrez, 1992)

Centro de distribución, también llamados Mercados de Destino, son establecimientos, organizaciones de tipo mayorista destinados a la recepción de los productos y al abastecimiento de los grandes centros urbanos consumidores (L., 1981).

Los objetivos que persigue el establecimiento de un centro de distribución o mercado de destino, pueden resumirse así:

- ❖ Ofrecer instalaciones físicas adecuadas, a un gran número de comerciantes de productos alimenticios.
- ❖ Facilitar el cargue, descargue y estacionamiento de toda clase de vehículos de abastecimiento y compradores, incluyendo automotores de gran tonelaje.
- ❖ Ofrecer servicios complementarios tales como mercado de subasta, almacenamiento, restaurantes, bancos y servicios de información de precios.

Para Garcia, los objetivos de la gestión de centros de distribución pueden resumirse de la siguiente manera:

- ❖ Lograr que el movimiento diario de productos que entran y salen de la empresa este estrictamente de acuerdo con las necesidades de compras y despachos
- ❖ Mantener los stocks previstos de materiales y mercancías al mínimo costo de acuerdo con los criterios de la empresa y los recursos financieros disponibles.
- ❖ Controlar perfectamente los inventarios, la facturación y los pedidos.

Los elementos que se consideran principales en un centro de distribución son:

- ❖ Espacio
- ❖ Mano de obra
- ❖ equipo

Las centrales de distribución deberán mantener una estrecha coordinación con las diversas etapas del proceso de comercialización funcionando como mercado mayorista terminal y como mercado de distribución con influencia regional, nacional o internacional si es del caso, de esta manera reducir costos de mercadeo, asegurar el mercadeo a la producción agraria, estabilizar y

asegurar precios más justos a productores y consumidores y ofrecer productos de acuerdo a las exigencias del mercado. (L., 1981)

1.2.6 Concepto de Picking.

La separación de pedidos o picking, consiste en seleccionar la mercancía de las estanterías para posteriormente conformar los envíos a los clientes. Entonces, es el conjunto de operaciones destinadas a separar productos solicitados por los clientes y que se manifiestan a través de los pedidos.

El picking es un proceso básico en la preparación de pedidos en los almacenes que afecta en gran medida la productividad de toda la cadena logística, ya que en muchos casos es el cuello de botella de la misma, esto debido a la alta participación de la mano de obra, recurso que es el más propenso a los errores, para minimizar tales errores es necesario eliminar las partes menos productivas del proceso (Garcia, 2011).

1.3 Publicaciones en base de datos científicas

Se consideraron las publicaciones consultadas en las bases de datos científicas como: ScienceDirect, Scopus, ebrary y Ebsco Host desde el año 1995 al 2018, seleccionando los criterios de búsqueda como: Capacities, models, dynamic of systems, simulation, routing applications, scheduling forklift y warehouse.

A partir de la revisión de los artículos, se identifica una diferencia entre los modelos logísticos y de manufactura, a continuación, se presenta los ítems de cada modelo (Ver Figura 7).

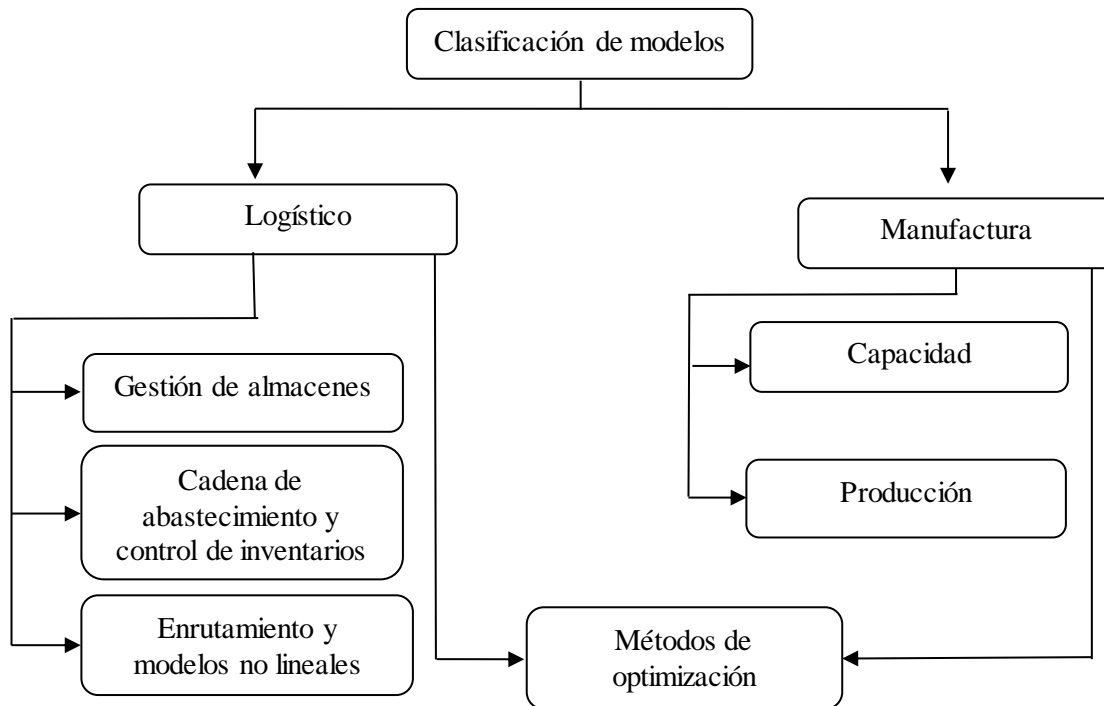


Figura 7. Clasificación de los modelos Fuente. Ésta investigación.

Cabe resaltar que dentro de las publicaciones se presenta una tendencia de mayores publicaciones en los últimos años en términos de scheduling forklift dynamic of systems, con un coeficiente de correlación de 0.9 y con intervalos de búsqueda de 7 años, en los años 1995-2002 había 678 artículos publicados, para el 2002 hasta el 2009 se incrementaron las publicaciones hasta llegar a 1.610 finalmente en el último intervalo del 2009 al 2017 se hallan más de 2.860 artículos publicados (Ver Figura 8).

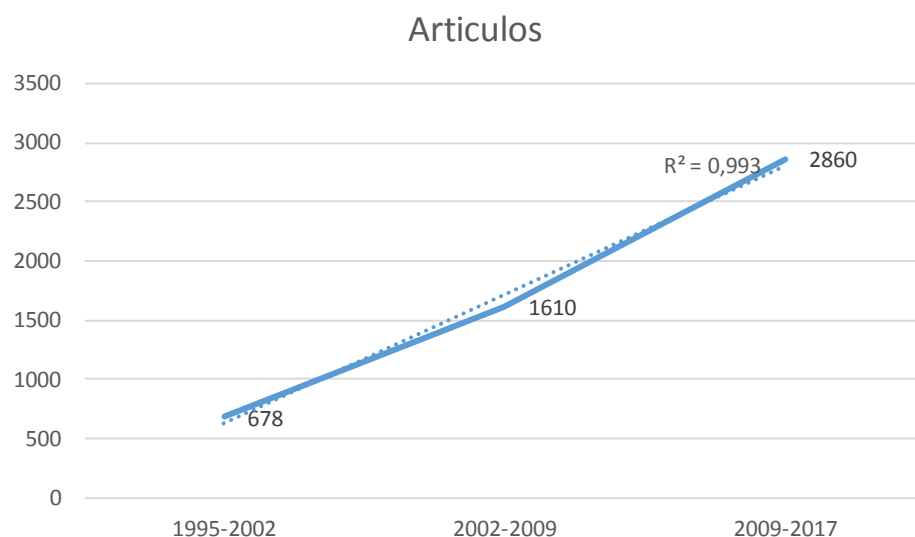


Figura 8. Tendencia de publicación de artículos. Fuente. Ésta investigación

1.3.1 Localización de almacenes.

Los autores Vega, Vidal, Vitor explican la metodología combinada de carácter multicriterio basada en análisis de decisión y optimización para el problema de localización de centros de distribución donde se define un conjunto de atributos relevantes de carácter cuantitativo y cualitativo para la decisión de localizar centros de distribución.

A partir de los criterios cuantitativos, proponen un modelo de programación matemática multiobjetivo para minimizar los costos asociados. Este modelo genera soluciones alternativas que pueden ser comparadas con otras conocidas a priori. Las soluciones son evaluadas por un modelo de decisión multicriterio que incorpora consideraciones cualitativas al problema, las cuales son inviábiles de representación algebraica (Soto de la Vega Diego, 2014, pág. 14).

También, los autores Moreno, Velásquez y Díaz indican un modelo referente a la ubicación estratégica de almacenes, en este caso, las decisiones sobre aspectos logísticos, especialmente en

el problema de ubicación estratégica de almacenes y en la determinación de los niveles óptimos de inventarios.

Donde se intenta minimizar separadamente dos funciones de costo que tienen un impacto conjunto en los estados financieros de la empresa. Estos son dos problemas tradicionales de la investigación de operaciones que han sido solucionados de forma independiente, debido a la complejidad que representa su solución conjunta (Moreno Velásquez Luis, 2006, pág. 5).

Formalmente, el problema consiste en seleccionar de un conjunto A de posibles almacenes, denominados sitios de oferta, un subconjunto de ellos, los cuales deben contener un conjunto de repuestos R, para atender la demanda de otros conjuntos de sitios, de tal forma que se minimicen los costos de operación de la empresa.

Dichos repuestos atienden un conjunto de sitios para los cuales se conoce su demanda. Esto es, su función de distribución de probabilidad y los parámetros que la caracterizan.

Para el problema planteado, los autores no han encontrado un método de solución directa en la literatura de investigación de operaciones, Por lo tanto, su solución debe ser encontrada usando métodos heurísticos. Para este caso, en particular, se utiliza un método de ramificación y poda del espacio de soluciones, llamado por los autores búsqueda exhaustiva con Poda, BEP, y el método de búsqueda Tabú, ambos combinados con simulación.

En esta categoría, Escobar presenta un modelo de trayectorias el cual constan de tres componentes. “El primero es el recorrido desde la zona de depósito, comenzado a hacer Picking desde el lado izquierdo de los pasillos. El segundo son los recorridos entre los pasillos, mientras se realiza Picking. El ultimo es un recorrido desde la zona de depósito, comenzado a hacer Picking desde el lado derecho de los pasillos” (Gabriel Escobar, 2013).

Los resultados obtenidos usando estos modelos dependen del número de pasillos, la longitud del pasillo, la localización de depósito, el número de pasadas por ruta y algunos parámetros físicos de las estanterías. La diferencia entre los valores calculados en el proyecto presentado fue menor para el Modelo de trayectoria en S, adicionando el cruce de pasillos, cuyo valor fue de 618 metros.

Las fórmulas analíticas fueron utilizadas como una función objetivo en el modelo de programación no lineal presentado a encontrar un diseño mejorado para la zona de preparación de pedidos en el almacén.

Para este caso,

Koster en su modelo de heurísticas para enrutamiento de picking considera problemas de enrutamiento y de diseño para los almacenes de pasillo en paralelo. En estos almacenes se recoge pedidos a pie o en coche a lo largo de los pasillos para recoger los productos de almacenamiento. Se pueden cambiar pasillos en un número de pasillos transversales, estos pasillos transversales son generalmente ubicados en la parte delantera y parte posterior de la bodega, pero también puede haber uno o más pasillos transversales en las posiciones intermedias. (Koster, 2001)

El artículo describe una serie de heurísticas para determinar rutas para picking en un almacén con dos o más pasillos transversales. Para analizar el rendimiento de la heurística, un algoritmo de rama-y-bound se utiliza para generar rutas cortas para picking.

Para la mayoría de los casos con más de dos pasillos en cruz, una heurística recién desarrollada parece funcionar mejor que las heurísticas existentes. Además, se discuten algunas consecuencias para el diseño. De los resultados se desprende que la adición de pasillos

transversales a la distribución del almacén puede disminuir el tiempo de manipulación de las órdenes mediante la reducción de los tiempos de viaje promedio. Sin embargo, la adición de un gran número de pasillos transversales puede aumentar tiempos de viaje promedio debido a que el espacio ocupado por los pasillos transversales tiene que ser también atravesado.

Por su parte F.A, Kees, describe un método para determinar un diseño para generar una orden en el área de picking en almacenes, tal que la distancia promedio de viaje de los preparadores de pedidos se reduce al mínimo.

A través de fórmulas se concibe la duración media de una ruta de preparación de pedidos que se puede calcular de dos diferentes políticas de enrutamiento. El diseño óptimo se puede determinar mediante el uso de tales fórmulas como un objetivo en función de un modelo de programación no lineal. El número óptimo de los pasillos en una preparación de pedidos depende en gran medida del espacio de almacenamiento necesario y el tamaño de la lista de selección (F.A, 2006, pág. 16).

En cuanto a los depósitos de accionamiento manual, Maram, Safwan y Al-Shihabi sitúan la distancia de desplazamiento del preparador de pedidos como un aspecto que tiene profundos efectos en el costo y la eficiencia del almacén.

La estimación de esta distancia es difícil debido a que el entorno de almacenamiento es un estocástico, afectada por un gran número de parámetros. Por lo tanto, presenta un estudio estadístico exhaustivo para evaluar cómo los diferentes parámetros de almacén y sus interacciones afectan la distancia de recorrido. Para estimar la distancia de viaje, simulaban los diferentes diseños utilizando el modelado basado en agentes (ABM). Con 324 diseños diferentes de ABM, permitió construir un modelo informático para simular todos los casos.

El estudio muestra que el tener una sola nave transversal y el uso de una política de almacenamiento basado en clases disminuye la distancia de recorrido”. (Maram Shqair, 2005, pág. 122)

Por otra parte, los resultados obtenidos muestran que la elección de la mejor política de enrutamiento depende de la distribución del almacén, lo que demuestra la importancia de considerar las interacciones entre los diferentes parámetros.

Rafal Cupek Menciona en su trabajo la planificación basada en la simulación de un programa de producción de series cortas. Los resultados de la simulación se pueden utilizar para apoyar el proceso de toma de decisiones. (Rafal Cupek, 2016, pág. 245)

Shakeri, propone un algoritmo heurístico de dos fases para el problema. Realiza una búsqueda heurística para construir una secuencia factible de camiones para la cesión de las puertas del muelle y, en segundo lugar, se introduce una heurística basada en reglas para asignar a cada camión secuenciado a un muelle adecuado, de tal manera que se evidencie un importante ahorro, esta planificación de la operación se da con la programación de los camiones en crossdocking. (Shakeri, 2011, pág. 28)

Es de resaltar la importancia de la simulación que se da en el cargue y descargue de mercancía como lo anuncia Loo, quien a través de la simulación animada con ARENA encuentra una estrategia que optimiza el tiempo de residencia de cualquier camión en el almacén en los sistemas de carga y descarga en un almacén (Loo, 2009, pág. 45) .

El autor Jóhannson optimiza en su modelo el gestor de órdenes de programación a los trabajadores con el objetivo de minimizar los retrasos en las entregas de pedidos. La eficiencia del almacén de programación tiene que ver con la relación de la longitud de la altura de la

ubicación (LHRL) en cierta medida, aún no ha sido bien investigado hasta ahora (Jóhannsson, 2011).

Wen-Qiang Yang, describe sin embargo en su modelo matemático la construcción mediante el análisis de la relación entre el tiempo de viaje del apilador y LHRL (Wen-Qiang Yang, 2013, pág. 136). Para Min-de Shen el sistema de almacenamiento intensivo y automático basado en un servicio de transporte de carril-switch tiene la función de caminar a lo largo de una trayectoria vertical y el cruce en el avión, que puede ser transferido entre los canales de almacenamiento (Min-de Shen, 2014, pág. 44).

1.3.2 Cadena de abastecimiento y control de inventario.

Con base a los modelos de cadena de abastecimiento se destaca el artículo de William Marin que presenta una propuesta metodológica y práctica que permite sincronizar las operaciones y las decisiones en una cadena de suministro de una empresa del sector de revestimientos cerámicos en Colombia.

Para ello se utilizaron dos herramientas de Teoría de Restricciones (TOC): la primera asociada a la sincronización de operaciones de la cadena de suministro (método Drum-Buffer-Rope), y la segunda, al desarrollo de una herramienta contable que permita mejorar la toma de decisiones de cada miembro de la cadena de suministro (Contabilidad de Throughput). Los resultados de la implementación muestran que mediante un análisis integral de la cadena de suministro puede mejorarse el desempeño de métricas globales como el nivel de servicio al cliente, el cumplimiento de los programas de producción, el costo de inventarios de materias primas y producto terminado, y la productividad de la empresa. (William Marin Marin, 2013)

También se pueden considerar otras herramientas como las que menciona Bhanuteja en su artículo de modelo SCOR, el cual es un modelo de referencia que se puede utilizar para mapear, punto de referencia, y mejorar las operaciones de la cadena de suministro. SCOR proporciona a las empresas una herramienta básica de modelado de procesos, una extensa base de datos de referencia, y define un conjunto de métricas de la cadena de suministro (Bhanuteja Sainathuni, 2014, pág. 690).

El ARENA software es una herramienta de simulación comercial que se puede utilizar para el modelado de simulación en diversas aplicaciones. Una integración de SCOR y ARENA ofrece el analista cadena de suministro con una herramienta integral y dinámico. Este documento informa sobre el trabajo en curso para integrar la metodología SCOR y una herramienta de simulación de eventos discretos. SCOR se utiliza básicamente para estudiar las operaciones estáticas de una cadena de suministro. Sin embargo, también hay una necesidad de estudiar los efectos dinámicos, por ejemplo de los cambios en la tasa de producción, la mala calidad de las materias primas, y otros efectos relacionados con el comportamiento "látigo" de una cadena de suministro. (Fredrik Persson, 2009)

Se puede referenciar de la misma manera a Umut Rifat ya que desarrolla una red de suministro (SN) como una secuencia de diferentes y múltiples números de funciones y unidades funcionales individuales que deben satisfacer todas las capacidades y requisitos de la demanda impuestas por los clientes con el mínimo coste a la red. Las funciones más importantes de un SN es el Almacenamiento y las funciones de transporte. En este trabajo se aborda el problema de diseño de almacenamiento y red de transporte que consiste en determinar la mejor estrategia para la distribución de los sub-productos de los proveedores del almacén y del almacén para los fabricantes. Teniendo en cuenta algunas similitudes

entre los sistemas holónicas y sistemas SN, que propone una metodología de modelado. Un proveedor múltiple, único almacén y sistema de fabricante múltiples se consideran una red de almacenamiento y transporte integrado. En consecuencia, un modelo de programación lineal se presenta para maximizar el beneficio de ambos de la SN en general y las unidades funcionales individuales de las funciones SN. , (Umut Rifat Tuzkaya, 2009, pág. 708)

Ahora bien, Cigolini propone en su trabajo un análisis de las dependencias entre el rendimiento de cadenas de suministro, es decir, de valores y la falta de existencias, y los dos parámetros de suministro de decisiones sobre la gestión de la cadena y la cadena de suministro de configuración, es decir, el número de fuentes, la capacidad de inventario en un nodo determinado y el número de nodos para compartir la capacidad de inventario considerado.

La distancia entre los nodos y el número de niveles de la cadena de suministro. Las relaciones entre estas variables han sido estudiadas por medio de una técnica de diseño de escenarios y la simulación de eventos discretos, junto con el análisis estadístico. Se han desarrollado modelos de lote económico (COE) a base de cadenas de suministro y basada en la previsión (Roberto Cigolini, 2005, pág. 11).

Los resultados sugieren algunas implicaciones prácticas potencialmente útiles en el campo: los intermediarios y los agentes especializados (ya sea global o local - ya que la distancia demostrado ser irrelevante) puede ser añadido por el bien de la calidad del producto y el costo.

Por otra parte, Aykut desarrolla un problema de control de inventario en el que los registros de inventario son inexactos acumulando los errores de inventario hasta que se realice un recuento de inventario. Se modela explícitamente cómo diferentes fuentes de error, en primer lugar se determina la reposición efectiva, como políticas que utilizan la información sobre el inventario

real de las fuentes de movimiento y de error y se minimizan los costos totales de inventario esperado (Aykut Atah, 2006).

En el caso de Hernandez ,estudia la cadena de suministro actual llamada, cadena de suministro totalmente intermediada actual (CSTIA)y propone una cadena de suministro a desintermediar llamada, cadena de suministro totalmente intermediada gestionada (CSTIG), finalmente se compara la desintermediación entre estos dos escenarios, teniendo como objetivo modelar un sistema de canales de distribución en una cadena de suministro típica de bienes manufacturados de consumo masivo, que permita estudiar el impacto de las desintermediación en indicadores operativos claves. (Hernandez, 2011)

También es viable evaluar la logística de salida de una organización, es posible en este caso hacer cuestionarios estructurados para captar la percepción del personal de GGBL respecto al rendimiento logística de salida de los servicios del tercero proveedor de logística. El estudio reveló que no había mucho cambio significativo en la medida de rendimiento de la cadena de suministro de los salientes. (Kwame Owusu Kwateng, 2014, pág. 83)

1.3.3 Enrutamiento y modelos no lineales.

Los autores Prins, Corberán y Christian en su artículo refiere las dificultades de capacidad del vehículo derivados del problema del cartero chino, el problema del cartero rural, y el enrutamiento como problema general y de multivínculos. El problema de enrutamiento en Arcos ha sido mucho menos estudiado que los problemas de nodo de enrutamiento sin embargo hay grandes avances logrados en la última década. (Prins, 2010, pág. 12)

La decisión de enrutamiento del vehículo es uno de los principales problemas que hay que resolver. En consecuencia, Kelen señala que es fundamental el uso de esquemas de rutas

eficientes, él propone un algoritmo que produce las rutas óptimas para los AGV (Automated Guided Vehicles) que trabajan en el interior de los almacenes como robots elevadores. (Kelen C Teixeira, 2009, pág. 67)

Para el caso de la ruta más corta, Beker presenta las investigaciones en curso y actuales en el uso de diferentes algoritmos de la ruta más corta para carretillas elevadoras con optimización de enrutamiento, el cálculo de la ruta óptima para carretillas elevadoras optimiza el trabajo en los almacenes.(Ivan Beker, 2011, pág. 34)

En cuanto a la recepción en el almacén, Vonolfen explica la recepción y enrutamiento en carretilla elevadora, con una aplicación industrial donde se suministran múltiples líneas de producción desde varios almacenes en la planta de producción en Rosenbauer. El material se almacena por los empleados que utilizan carretillas elevadoras.

Después de que las partes han sido recogidas en el almacén, que son entregados a cuatro carretillas elevadoras más pequeñas en lugares de almacenamiento, en la fabricación, manipulación de materiales, manifiesta que se logró reducir hasta un 20% - 50% de los gastos totales de operación. (Stefan Vonolfen, 2012, pág. 56)

Para Figueroa:

los modelos orientados a bloques han mostrado ser útiles y eficaces como representaciones no lineales en muchas aplicaciones. Son modelos simples y a la vez validos en una región más amplia que un modelo lineal invariante en el tiempo. En cuanto a su estructura, consisten en una cascada integrada por una dinámica lineal y un bloque estático no lineal. Si bien existen en la literatura numerosos trabajos que abordan la identificación nominal de estos modelos, el problema de identificación robusta en presencia de incertidumbre no ha

sido cabalmente tratado. (Figueroa, Identificación Robusta de Modelos Wiener y Hammerstein, 2009, pág. 46)

En este trabajo, se consideran dos clases de modelos orientados a bloques: modelos Wiener y Hammerstein. Empleando una representación paramétrica, se propone describir la incertidumbre como un conjunto de parámetros, cuyos valores se obtienen resolviendo un problema de optimización. El algoritmo de identificación desarrollado se ilustra mediante ejemplos de simulación.

Por otro lado, el autor Villa en su artículo, describe herramientas para el filtrado de los sistemas de tiempo discretos no lineales. Sin embargo, la presencia de parámetros desconocidos en las ecuaciones del sistema hace que su uso más complejo puede incluso tener propiedades de convergencia.

Esta calificación muestra cómo una estimación en línea de estos parámetros se compone y se pueden obtener simultáneamente a las variables de estado a filtrar. Este enfoque posteriormente se monta sobre una estimación no paramétrica basada en el kernel de densificado con una probabilidad condicional de sucesivas generaciones de Monte Carlo de partículas del sistema. (Villa, 2005, pág. 120)

Bajo la misma línea, Matta describe un trabajo que propone un algoritmo de descomposición basado en el tiempo que se divide el modelo de programación matemática en una serie de submodelos que se puede resolver de forma secuencial para que el enfoque de programación matemático sea viable para la simulación de larga ejecución. El número de submodelos requeridas es la solución de un problema de optimización que minimiza el tiempo esperado para la resolución de todos los submodelos, el objetivo es desarrollar una metodología estadística,

integrado con amplia simulación fuera de línea y el análisis de colas preliminar, para la estimación de un pequeño número de modelos de función de transferencia (TFMS) que cuantifican la dinámica de entrada-salida de un sistema de colas en general. (Matta, 2013, pág. 557)

La entrada aquí es la tasa de llegada de variación temporal de puestos de trabajo en el sistema; las actuaciones de salida en función del tiempo incluyen la tasa de salida de los puestos de trabajo y la media de los trabajos en curso

Es de considerar de igual modo, según Meller un modelo de almacén basado en la red de lugares de palets individuales y sus interacciones con los pasillos transversales adecuadas con el fin de evaluar la distancia de recorrido previsto de un diseño, utiliza partículas Swarm para determinar los mejores ángulos de pasillos transversales y pasillos de picking para la recolección múltiple en una bodega de carga unitaria. El resultado sugiere que los diseños alternativos ofrecen reducir la distancia de recorrido previsto, pero a costa de un mayor espacio de almacenamiento. (RD Meller, 2014)

Al tener en cuenta la relación almacén e inventario, Sainathuni introduce el problema de almacén-inventario-transporte (WITP) para determinar:

Un plan de distribución óptima de los vendedores a los clientes a través de uno o varios almacenes con el fin de minimizar el costo total de distribución. El modelo de programación entera no lineal para el WITP considerando las cadenas de suministro con múltiples proveedores, tiendas, productos y plazos, y un almacén. El modelo también considera la congestión del trabajador en el almacén que podría afectar a la productividad del trabajador. Una heurística basada en iterativo de búsqueda local está desarrollada para resolver problemas

de la industria de tamaño con un máximo de 500 tiendas y 1.000 productos. Nuestros experimentos indican que los planes de distribución obtenidos a través de la WITP, en comparación con un enfoque secuencial, resultan en una reducción sustancial de la varianza carga de trabajo en el almacén, al tiempo que reduce considerablemente el costo total de distribución. Estos planes, sin embargo, son sensibles al pasillo de configuración y la tecnología en el almacén, y el nivel y la productividad de los trabajadores temporales. (Bhanuteja Sainathuni, 2014, pág. 690)

1.3.4 Modelo de Capacidad.

Los modelos dentro de esta tipología enfatizan en la capacidad en los sistemas, así como lo analiza Bretthauer en su trabajo aborda la planificación de capacidad en los sistemas que pueden ser modelados como una red de colas.

Específicamente, se presenta un modelo de optimización de métodos y soluciones para la selección de un costo mínimo de la capacidad en cada nodo de la red de tal manera que un conjunto de restricciones de rendimiento del sistema está satisfecho. La capacidad se controla a través de la tasa media de servicio en cada nodo. Para ilustrar el enfoque de teoría de colas y cómo se puede utilizar para medir el rendimiento del sistema, se discute un modelo de fabricación que incluye límites máximos de los tiempos de producción de productos y el trabajo en curso de fabricación en el sistema. Los métodos para la solución de problemas de planificación de capacidad, con opciones de capacidad continua y discreta se discuten. Enfocándose principalmente en el caso discreto, con una función de costos cóncava, lo que los cargos fijos y los costos que presentan las economías de escala con respecto a la capacidad para ser manipulados. (Bretthauer, 1995, pág. 35)

En cuanto a capacidad, Kumar exponen en su artículo, los problemas de la herramienta de gestión de sistemas de fabricación flexible (FMS), ya que no dispone de herramientas de cortes de FMS en la raíz misma de los objetivos estratégicos para los cuales dichos sistemas han sido diseñados.

En concreto, la capacidad de FMS para producir económicamente productos personalizados (flexibilidad de alcance) en mayor o menor tamaño de los lotes (flexibilidad de volumen) y entregarlos en un programa acelerado (tiempo de respuesta del mercado) se ve gravemente obstaculizada cuando las herramientas necesarias no están disponibles en el tiempo necesario. Por otro lado, el exceso de inventario de herramientas en tales sistemas representa un coste significativo debido a la naturaleza costoso de inventario de herramienta FMS. El artículo construye un requisito de dinámica como herramienta de planificación (DTrp) modelo para una operación de planificación FMS herramienta que permite la determinación dinámica de las reposiciones. (Ashok Kumar, 1997)

Similar al caso anterior, Riezebos propone un método de Fabricación sincronizada, que tiene por objeto lograr los beneficios de las líneas de producción intermitentes en situaciones de producción, también hay beneficios como los tiempos de producción cortos y constantes y la capacidad predecible de carga que puede ser adquirido a través de un diseño apropiado del sistema de fabricación sincronizada y su sistema de control. (Riezebos, 2003, pág. 7)

La decisión de la liberación de órdenes de trabajo es una parte esencial de este sistema de control. Determina la secuencia en la que los productos pueden diferir en la cantidad y distribución de sus requisitos de capacidad más las etapas posteriores de producción, la capacidad de carga total puede variar con el tiempo.

Para Montellano los elementos discretos en 3D en su modelo son capaces de simular el flujo observado de cuentas de vidrio (esferas de vidrio sencillo) y granos de maíz (representado como una combinación de esferas) durante su descarga desde un pequeño modelo de silo. Un modelo preliminar para cada material se construyó sobre la base de los valores de las variables medidas en el laboratorio o tomados de la literatura. (Montellano, 2011)

La capacidad de los modelos para predecir el flujo de estos materiales se ensayó mediante la comparación de sus resultados con los flujos de descarga observados.

Sharda, presenta una guía para la selección de la política de gestión de inventario de una fábrica de productos químicos de especialidad que produce productos con vida útil limitada, mediante la producción de múltiples grados de químicos a granel y envasado de ellos en una gran variedad de botellas. La política de cada producto fue seleccionada sobre la base de un análisis de costo-beneficio, el uso de los múltiples objetivos de maximizar el tiempo de cumplimiento de la orden, lo que minimiza la producción (limpieza y conservación de vencimiento) y los costos de inventario. (Bikram Sharda, 2012)

Se evaluó tres políticas diferentes: hacer contra stock (MTS), el aplazamiento, y combinado MTS / aplazamiento. También se evaluó diferentes medios de almacenamiento y optimizado el número de unidades de almacenamiento para los productos seleccionados de aplazamiento.

1.3.5 Modelo aplicado en Producción.

En cuanto a modelos de producción, se puede citar a Thompson, quien presenta una nueva formulación de los problemas de programación diaria y semanal del Trabajo (NFLSP) esta formulación incorpora información sobre cómo cambiar el número de empleados que trabajan en cada período de planificación y que afecta los beneficios. NFLP utiliza esta información durante

el desarrollo del programa para identificar el número de empleados que, idealmente, deberían estar trabajando en cada período. (Thompson, 1995, pág. 4)

En el trabajo que presenta Sundararajan, analiza la aplicación de un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) para la toma de decisiones operativas en una industria de procesamiento de alimentos. Se desarrollan modelos para determinar el escenario de producción óptimo para cada semana, basado en el equilibrio entre los niveles de servicio, costos, inventarios, los cambios y la capacidad. Las experiencias de los autores en el diseño, desarrollo e implementación del Sistema de Soporte de Decisión se comparten en este documento. (Sekar Sundararajan, 1998, pág. 33)

1.3.6 Modelos aplicados en pert y cpm.

Para Jun-Yan el control de riesgos en el cronograma del proyecto es uno de los problemas de enfoque más comunes en el círculo académico y en el área práctica, en su artículo realiza una revisión de la literatura sobre las técnicas de control de la incertidumbre del cronograma. El análisis de esos logros se presenta como CPM, PERT, MC, BBN, etc. Se ha analizado una discusión profunda en términos de ventajas y desventajas de la investigación existente, de modo que los investigadores pueden continuar refinando su investigación. (Jun-Yan, 2012, pág. 1842)

Ahora bien, es posible observar como Gladysz, a través de un estudio de caso en la industria de construcción proponen un modelo matemático que respalda la gestión del riesgo del proyecto, lo que ayuda a decidir qué riesgos deben eliminarse de manera que los requisitos del cliente con respecto al tiempo de finalización del proyecto se pueden satisfacer a un costo mínimo. El modelo se basa en modificación del método PERT y se puede reducir a un problema de programación lineal mixto. (Barbara Gladysz, 2015)

En el caso del área medicinal, también se logra aplicar un diseño del modelo de algoritmo para programar el sistema de apoyo en la producción de hierbas apropiada para el bien. Las Prácticas de fabricación de medicina tradicional (GTMMP). (Maharesi, 2013, pág. 613)

Esto cumple con el estándar, lo cual permitió hacer una práctica de análisis de red, que combina las técnicas de evaluación y revisión (PERT) y el Método de Ruta Crítica (CPM). La implementación de los sistemas de apoyo a la decisión es la consideración para las compañías que pretenden certificar GTMMP.

Desde el punto de vista de Algoritmo para la búsqueda de la ruta en la tecnología de la planificación de la red, Zhao el Método de ruta crítica (CPM) y Técnica de Revisión de Evaluación de Desempeño (PER) Con el objetivo de encontrar el problema de hallar la trayectoria hipocrítica en la planificación de la red, las propiedades de la flotación total. El teorema de flotación total se deduce sobre la base del análisis anterior, la prueba muestra que el algoritmo podría realizar el efecto de la optimización total podría ser realizado por parte del mejoramiento. Finalmente, se da una ilustración para expandir el algoritmo. (Zhao, 2012, pág. 1520)

Es visible también en el aspecto de telecomunicaciones, el uso de PERT Y CPM como bien lo describe, Mazluma en su estudio, clásico PERT y CPM, que son técnicas de gestión de proyectos, PERT difuso y CPM difuso, que se utilizan en la administración de proyectos, se utilizará para mejorar y planificar una sucursal en línea en Internet. En el estudio, ciertos tiempos de actividad confusos de tres empresas diferentes fueron usados. Con ciertos tiempos de actividad, optimización clásica de CPM y PERT y con el uso de números difusos triangulares para datos borrosos, se analizaron la optimización de CPM y PERT. (Mete MAZLUMa, 2015)

2. Metodología

El modelo desarrollado se ejecutó con el software Matlab, que utiliza un lenguaje del cálculo técnico, esta plataforma de MATLAB está optimizada para resolver problemas de ingeniería. El lenguaje está basado en matrices, lo cual permite expresar las matemáticas computacionales.

En cuanto a la información brindada por el operador logístico colombiano se estableció las variables a contemplar en el modelo. La metodología inicia con los criterios que se tienen, con la interpretación de las variables de entrada del modelo para finalizar con la representación de la asignación de equipos montacargas especialmente en el área de acondicionamiento, de acuerdo al comportamiento de los datos se establecen condiciones, políticas para posteriormente la toma de decisiones para mejorar los procesos.

2.1 Representación de la asignación de equipos

A continuación, en las figuras 9, 10 y 11 se expone el esquema de trabajo en el operador logístico para el procedimiento de almacenaje, despacho y aprovisionamiento:

❖ Procedimiento de almacenaje:

Este procedimiento se realiza con base a la recepción de la mercancía, tipo de material, peso y tamaño, después de esta inspección se rotula y codifica para finalmente establecer la cantidad total recibida y posteriormente transportada por el montacargas al área de almacenamiento.

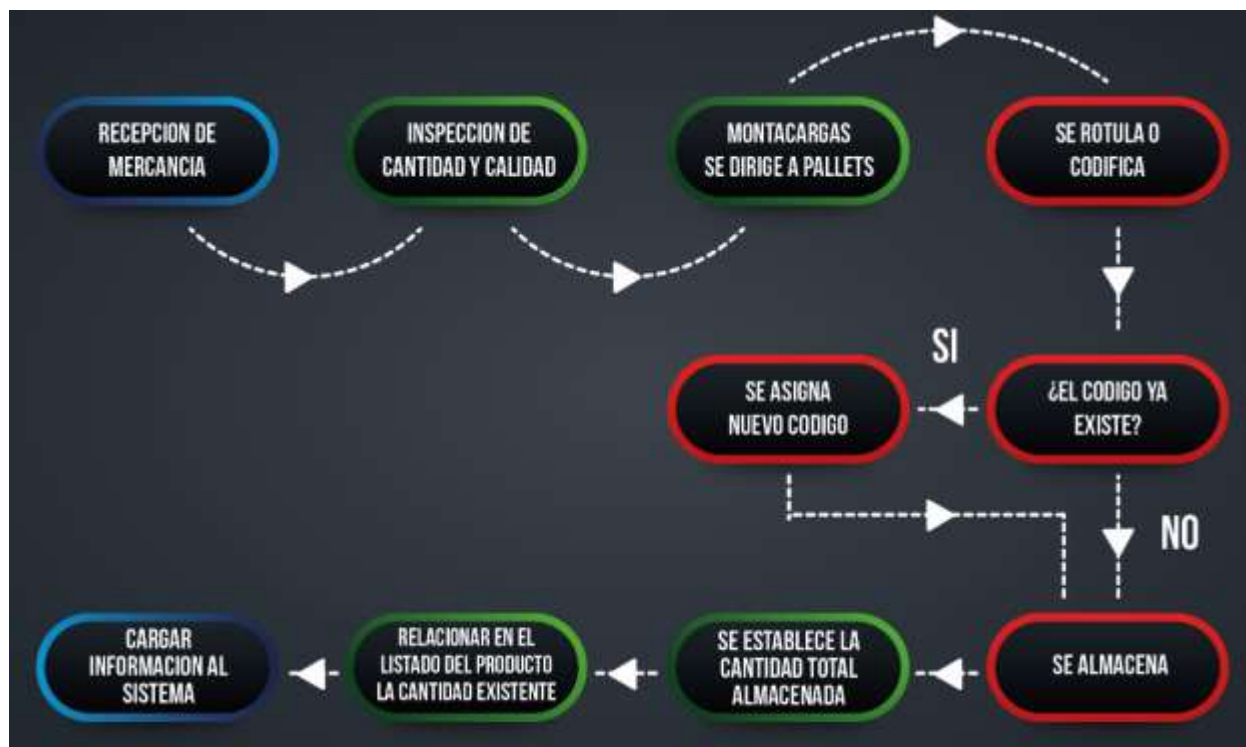


Figura 9. Representación procedimiento de almacenaje. Fuente. Ésta investigación

❖ Procedimiento de despacho:

Esta operación se realiza en el momento en que la orden se genera con la cantidad respectiva de mercancía para despachar, después de una inspección el montacargas transporta el pedido al área de cargue.



Figura 10. Representación procedimiento de despacho. Fuente. Ésta investigación

❖ Procedimiento de aprovisionamiento:

Esta operación consiste en acoplar los productos generalmente en forma de promociones u ofertas para su posterior venta de acuerdo a la exigencia del cliente, así que el montacargas realiza el recorrido desde el almacén hacia el área de acondicionamiento, consecutivamente después de estar acondicionado el producto se transporta ya sea al despacho o al almacén nuevamente.



Figura 11. Representación procedimiento de acondicionamiento. Fuente. Ésta investigación

3. Desarrollo del modelo de asignación de equipos montacargas

3.1 Problema.

Así como lo menciona Kelen, los robots elevadores se aplican con frecuencia en sistemas logísticos automatizados para optimizar las tareas de transporte y, en consecuencia, reducir costos. Para mejorar los procesos y la productividad, así como para reducir los costos, la automatización de los procesos logísticos es muy importante, así como las actividades individuales puede resultar en un rendimiento global óptimo el manejo de materiales es una actividad significativa en la industria sobretodo en el proceso de almacenaje. (Kelen C Teixeira, 2009, pág. 67)

Por tal razón, como política de mejora dentro del operador logístico para estar a la vanguardia se ostenta la propuesta de asignación de equipos montacargas con el fin de optimizar los procesos especialmente de acondicionamiento de productos, ya que se presenta el inconveniente del desconcierto de la asignación concreta y exacta del funcionamiento del número de montacargas para las operaciones, y su aprovechamiento al máximo, que indirectamente llega a afectar a la toma de decisión acertada para el manejo de las instrucciones dentro del área de almacenamiento.

3.2 Hipótesis

La hipótesis pretende estimar que la ejecución del modelo de asignación de equipos a través de programación lineal y aplicación de iteraciones establezca una selección óptima de montacargas según varíe los pedidos, con la finalidad de tener una optimización del transporte en cada máquina, y una máxima utilización dentro de los procesos de almacenaje, despacho y especialmente y centrando toda la atención al área de aprovisionamiento.

Proporcionando como interrogante lo siguiente: ¿Es posible que con un modelo para asignar montacargas se pueda optimizar los procesos especialmente en el área de acondicionamiento con los que ya se cuenta para maximizar la utilización de los equipos?

3.3 Características del modelo

Con base al problema, el modelo está relacionado con la cantidad de pedidos o de productos terminados que se presenta en el turno de trabajo, para asignar los montacargas a los procesos que se requieran en el momento, como lo son; recepción, despacho y acondicionamiento. Se estudió la posibilidad de aumentar los recursos o de disminuirlos, principalmente en el área de

acondicionamiento, a continuación de evidencia una representación de la vista superior del área de trabajo donde se ejecuta las operaciones (Ver Figura 12).



Figura 12. Representación vista superior del área de trabajo. Fuente. Ésta investigación

Para la representación del modelo PERT, en la figura 13 se demuestra cómo se podría contemplar el horario de trabajo; aunque puede darse de cualquier manera, respetando las 8 horas de trabajo laborales. El horario laboral incluye 1h de almuerzo.

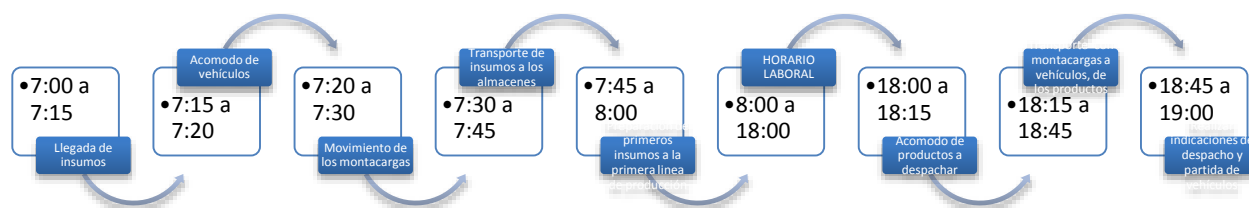


Figura 13. Representación modelo PERT. Fuente. Ésta investigación

Se esclarece que el modelo realiza esencialmente el área de acondicionamiento, donde los montacargas están representados en una continua operación, para el proceso de recepción y despacho se aclara que los montacargas están disponibles en cierto tiempo antes del comienzo de la operación de acondicionamiento, esto no se representa en el modelo, el modelo brinda la pauta para saber si en algún momento el montacargas queda disponible y podría irse a estas áreas mencionadas.

3.3.1 Criterios del modelo

Se parte de los siguientes supuestos:

- ❖ Se trabajan dos montacargas, ambos montacargas son exactamente iguales.
- ❖ Ambos montacargas se encuentran en condiciones óptimas de servicio.
- ❖ El costo de uso para ambos montacargas es exactamente el mismo, independientemente de la operación que realicen (estando quietos o movilizandó mercancía).

- ❖ Como los montacargas mantienen un costo exactamente igual de uso, este modelo solamente se preocupa por el aprovechamiento constante de la máquina, asumiendo que no maneja el operador un tiempo constante (o que las holguras de tiempos no son significativas y si lo son se contempla ese tiempo disponible para recepción y despacho). En caso de ser una máquina con inteligencia artificial, seguramente los costos de uso serán menores, y se debe ver desde una perspectiva semejante el uso de la máquina.
- ❖ Es de gran interés, además, que los montacargas sean capaces de llevar la mayor carga posible, sin que haya sobrecupo.
- ❖ El trabajo del montacargas no puede afectar (“frenar”) los procesos que se llevan a cabo en la planta.
- ❖ Se asume de que todas las partes implicadas en el proceso siguen sus funciones, con el fin de no detener en ningún momento la producción.
- ❖ Para la realización de este modelo, se debe tener en cuenta que el sistema completo se puede modelar como una red de 4 nodos, aunque el modelo se centra entre almacén y acondicionamiento, como se muestra en la figura 14:

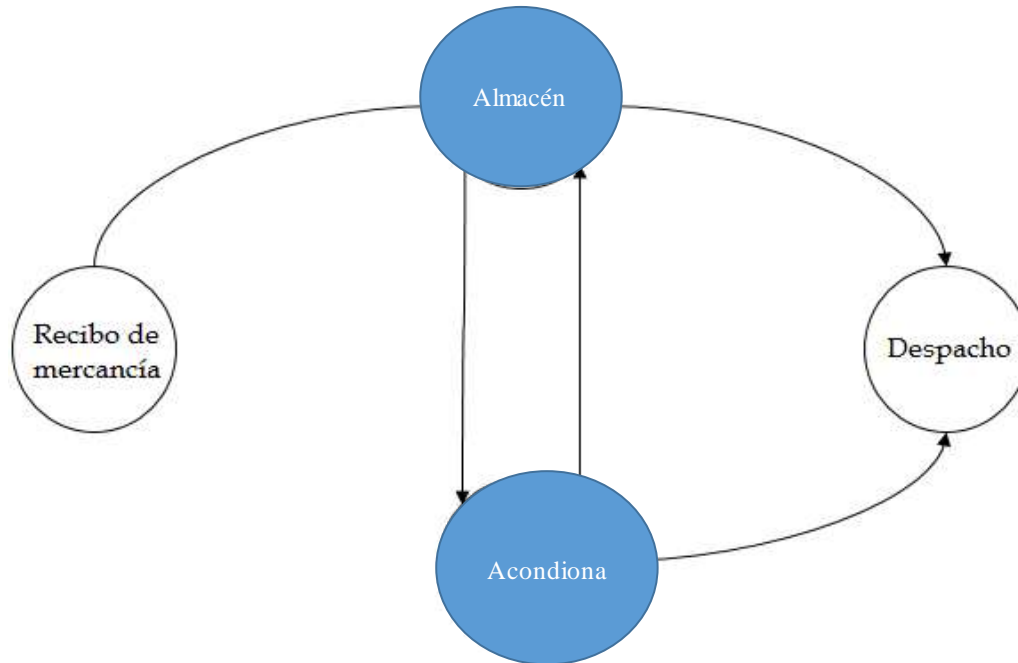


Figura 14. Principales áreas a trabajar dentro del modelo. Fuente. Ésta investigación

De esta manera, se debe optimizar el tiempo y asignación de montacargas, haciendo que ambos funcionen dentro de las partes operativas de la empresa principalmente en producción.

3.3.2 Interpretación de las variables de entrada

Para el desarrollo del modelo, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ❖ Organización de tiempos, llegada y salida de mercancía:

Para este modelo, se tendrá en cuenta que la llegada y salida de mercancía se hacen en horarios que estén fuera del horario de producción. Esto previene solapes de funciones para montacargas, y agiliza el procesamiento de materia prima, entregando a los clientes directos los productos finalizados en horarios establecidos.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, por cuestiones de simplicidad del presente proyecto, no se va a analizar el costo a pagar por el transporte de productos terminados, o la

asignación de personal para poder acomodar todo el material de entrada o salida. En ese orden de ideas, los montacargas se encontrarían completamente libres para hacer recepción de materia prima a cierta hora (o día de la semana), y un despacho a los cargamentos de salida.

Para ello, se plantea un modelo PERT-CPM, donde se asignan las duraciones y horarios para recepción y despacho de cargamento, desde los proveedores y hacia los clientes directos, respectivamente.

❖ Personal y tiempos:

Se planteó un modelo donde el personal trabaja 8 horas al día. No se tendrán en cuenta horas extras, excepto cuando sea estrictamente necesario como en el caso de ser necesario para la recepción y despacho de cargamento.

Para este modelo, no se tendrán en cuenta las cantidades de personal a emplear, puesto que en una línea de trabajo puede existir la posibilidad de tener más o menos personas de las necesarias para poder entregar productos a tiempo. Solo se tendrá en cuenta el tiempo que le lleva a cada línea de trabajo realizar el proceso que fuese implicado para producir el producto.

Por otro lado, se va a tener en cuenta que todas las líneas de trabajo hacen procesamiento de la materia de entrada en serie (uno a uno).

❖ Líneas de producción:

Para este caso, se van a tener en cuenta seis líneas de producción o acondicionamiento. Sin embargo, el modelo planteado podría funcionar para plantas con menor número de líneas, haciendo ligeras modificaciones. Por otro lado, cada línea tendrá un tiempo

determinado de procesamiento, y la posibilidad de almacenar en su entrada y salida una cantidad determinada de productos semidesarrollados, en contenedores que sean fáciles de transportar por los montacargas. Estos contenedores tendrán una capacidad determinada, que depende de lo que pueda tener el montacargas.

❖ **Recepción y despacho:**

En este caso, se hace una recepción de insumos iniciales que serán asumidos para el modelo. Así mismo, el despacho de los productos se hará desde el almacén de los productos terminados. No se tendrá en cuenta el despacho directo desde la última línea de trabajo, porque sería costoso y dispendioso para organizar y maniobrar los tiempos de los montacargas.

❖ **Productos:**

Para este caso, se tendrá en cuenta un único producto a fabricar o a acondicionar, ya sea, un kit escolar, un paquete que incluya una promoción, es decir una cantidad o varios productos asociados para convertirse en uno solo como oferta 2 x 1.

3.3.3 Modelo simplex

Para este caso, se van a considerar diferentes variables, que deben ser ingresadas en el modelo general, para poder aplicar de manera precisa las distribuciones de tiempo necesarias dentro de las cuales funcionan los montacargas.

Para ello, se mantuvieron los siguientes supuestos:

❖ El modelo será hecho para una planta que tenga hasta seis líneas de producción o acondicionamiento. Sin embargo, este planteamiento se puede aplicar para un número mayor o menor de líneas, de ser necesario, aplicando la misma filosofía que se ha mantenido planteando, aunque en el caso de ser más líneas de las 6 establecidas es necesario la

reprogramación del sistema lo cual se contempla para el caso de maximizar el modelo o que se quiera automatizar en el área profesional específica.

❖ El movimiento de los productos o elementos semi-terminados será de manera serial (Es decir, Almacén-1-2-3-4-5-6-Almacén) Cabe resaltar que como son dos montacargas, la operación se divide, es decir; el montacargas 1 se encarga del almacén hasta la línea 3, y el montacargas 2 se encarga de la línea 4 a la 6.

❖ Este modelo tiene la capacidad de obtener resultados de una manera iterativa manual. Por lo tanto, se puede saber de manera sencilla si el número de montacargas escogido puede suplir las necesidades del transporte en cada línea, sin muchas complicaciones. El sistema hace saber a través del dato de balance que los montacargas tienen que estar bajo la misma ocupación, el dato de balance me indica si otro montacargas requiere descanso, o por el contrario requiere de ayuda.

❖ Sin embargo, este modelo es funcional para plantas donde la cantidad de líneas de es pequeña. Cuando tiende a ser grande, es necesario tomar ciertas consideraciones, que seguramente este modelo no abarcará por completo. El modelo se generalizará para una planta de seis estaciones diferentes.

Así, se tiene lo siguiente:

❖ La tasa de producción de cada línea, $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$ (ya que se va a hacer para seis estaciones diferentes). Estas tasas indican la cantidad de productos (o partes) que se procesan en cada línea, cada cierto tiempo. Este dato resulta importante, puesto que así se sabrá el ritmo con el que se deben realizar las entregas a cada línea.

❖ Velocidad promedio del montacargas en la bodega, v_m . Este término puede considerarse como una velocidad esperada entre cada trayecto, teniendo en cuenta los límites permitidos dados por la empresa.

❖ Distancia entre cada línea, $d_{12}, d_{23}, d_{34}, d_{45}, d_{56}, d_{61}$.

Nota: Se debe tener en cuenta que, según el número de montacargas, se deben tener en cuenta otras distancias, dadas por d_{ab} , donde a es el nodo final para el montacargas dado, y b es el nodo inicial del trayecto del mismo montacargas. El sistema al ser iterativo brinda la solución, aunque la pauta la da el encargado del área que está haciendo el ingreso de la información al sistema o software.

❖ Cantidad máxima de productos de entrada para cada línea, $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Estas cantidades indican el número de productos semiterminados que deben entrar como máximo a cada línea, sin saturar el espacio posible para poder trabajar con ellos de forma satisfactoria.

❖ Cantidad máxima de productos de salida para cada línea, $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$. Estas cantidades indican el número máximo de productos que han sido terminados y se pueden almacenar para entregar al montacargas. Cabe aclarar que este modelo no tiene presente cuando se llena, lo que hace es prevenir que se llene, lo hace a través de la matriz p.

❖ Tasa de carga de materia prima (en unidades) en un tiempo dado, i_o

❖ Número de montacargas n. Va a ser necesario para realizar el proceso de minimización.

❖ Tiempo base T. Es la variable más importante, puesto que indicará el comparativo de tiempo con el que se tendrá.

❖ Tiempo de carga de los subproductos $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ (0 sería para la materia prima inicial).

❖ **VARIABLES OPCIONALES:** No se incluirán, debido a que este modelo estará mayormente enfocado para empresas pequeñas, que hacen productos o acondicionan relativamente pequeños con carga no tan significativa.

○ Peso permitido por el montacargas w . El montacargas puede llegar a tener un peso máximo permitido a contener, que puede superarse con una cierta cantidad de subproductos terminados. De ser así, es conveniente tener en cuenta esta variable con el fin de tener presente los límites de carga, para no llegar a tener gastos por mantenimiento mayores a los estimados.

○ Peso de subproductos de salida para cada línea $p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$ (0 sería para la materia prima inicial). Justo con los parámetros del anterior ítem, es útil saber el peso de cada subproducto para tener conocimiento de los efectos dentro del montacargas.

3.3.4 Modelo ejecutado

A continuación, se presenta el modelo para un sistema de dos montacargas ($n=2$).

Adicionalmente, el recorrido para los dos montacargas se hará así:

❖ **Montacargas 1:** 0-1-2-3-0 (cíclico)

❖ **Montacargas 2:** 0-4-5-6-0 (cíclico)

La variable de solución, se puede tomar entre el tiempo utilizado entre cada línea $t_{12}, t_{23}, t_{34}, t_{45}, t_{56}, t_{61}$, y/o tiempos hacia la bodega $t_{01}, t_{02}, t_{03}, t_{04}, t_{05}, t_{06}$ esto depende de que trayecto se escoja, t_{ij}

❖ **SUBINDICES**

i = Números de líneas de llegada(inicio)

j = Números de líneas de salida(final)

❖ VARIABLES DECISIÓN : t_{ij}

❖ FUNCIÓN OBJETIVO:

Tiempo de uso (s)

$$\text{Maximizar } s = t_{12} + t_{23} + t_{30} + t_{01} + t_{04} + t_{45} + t_{56} + t_{60}$$

El objetivo es maximizar el uso con respecto al tiempo, es decir, que se haga el mayor aprovechamiento de los montacargas durante su periodo de uso.

❖ SUJETO A:

Se hará la suposición de que, las cantidades de entrada son iguales a las de salida. (Ver tabla 2)

Tabla 2

Variables y Restricciones

| Nombre de la restricción | Restricción | Descripción |
|--|---|--|
| Productos máximos de salida en las líneas | $m_1(t_{01} + t_{12} + t_{23} + t_{03} - c_1) \leq b_1$ $m_2(t_{01} + t_{12} + t_{23} + t_{03} - c_2) \leq b_2$ $m_3(t_{01} + t_{12} + t_{23} + t_{03} - c_3) \leq b_3$ $m_4(t_{04} + t_{45} + t_{56} + t_{60} - c_4) \leq b_4$ $m_5(t_{04} + t_{45} + t_{56} + t_{60} - c_5) \leq b_5$ $m_6(t_{04} + t_{45} + t_{56} + t_{60} - c_6) \leq b_6$ | Se debe tener en cuenta que la cantidad de productos en la salida debe ser menor a su máximo. Durante el tiempo que permanece el montacargas en su trayecto, la línea sigue manteniendo nuevos subproductos en la salida. |
| Tiempo mínimo de viaje/velocidad | $t_{12} \geq 2c_1 + \frac{d_{12}}{v_m}$ $t_{23} \geq 2c_2 + \frac{d_{23}}{v_m}$ $t_{30} \geq 2c_3 + \frac{d_{30}}{v_m}$ $t_{01} \geq 2c_0 + \frac{d_{01}}{v_m}$ $t_{04} \geq 2c_0 + \frac{d_{04}}{v_m}$ $t_{45} \geq 2c_4 + \frac{d_{45}}{v_m}$ $t_{56} \geq 2c_5 + \frac{d_{56}}{v_m}$ $t_{60} \geq 2c_6 + \frac{d_{60}}{v_m}$ | El tiempo que dure el montacargas entre punto y punto debe ser suficiente para: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Lograr cargar y descargar el subproducto en cuestión. ❖ Lograr desplazarse entre cada tramo, con la velocidad esperada. |
| Tiempo de i a j es decir de inicio a fin | $x = [t_{01}, t_{12}, t_{23}, t_{30}, t_{04}, t_{45}, t_{56}, t_{60}]$ | Es un vector, pueden ser valores de cada estación |
| Multiplicación de variables por (-1) | $f = [-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1]$ | Esta condición se realiza por parámetros del sistema Matlab, para lograr maximizar tiempos de utilización |

La función -1, tiene los coeficientes mas no las variables, es importante saber el orden de las variables al ingresar la información en el modelo, como se observa la matriz A, es la misma de productos máximos de salida, bajo la estructura de AX menor B,

3.3.5 Construcción modelo Matlab

Con el fin de tener una comprensión mayor del comportamiento de las variables presentes y del problema de programación lineal que se tiene planteado, se aprovechó la función **LINPROG**. La cual minimiza una función f con las siguientes condiciones; (a) matriz, (b) vector, menor que un b que son los máximos, como se quiere es maximizar, por ende, esta función que minimiza se convierte en maximización al multiplicar por (-1) , ya que Matlab no tiene las prestaciones de maximizar de inmediato, de esta forma se minimiza lo más que se pueda posible para llegar a lo más negativo, convirtiendo en valor absoluto para llegar a una maximización.

Paro para ello, se debe tener en cuenta la documentación que Matlab proporciona al respecto:

$$x = \text{linprog}(f, A, b)$$

$$x = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$$

A partir de esta información, se debe tener en cuenta que fun es la función a minimizar, A es la matriz de coeficientes y b el vector, en donde $A * x \leq b$.

Adicionalmente se pueden cumplir otros eventos técnicos, tales como que los tiempos deban ser iguales para algunos trayectos, o se cumplan ciertas reglas, que deban ser exactas, dentro de ciertos parámetros establecidos. Para ello, se aprovechan los dos últimos parámetros, de tal forma que $A_{eq} * x = b_{eq}$.

Esta opción permite tener límites inferior lb y superior ub .

En este caso:

$$A = \begin{bmatrix} m_1 & m_1 & m_1 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_2 & m_2 & m_2 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_3 & m_3 & m_3 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 & m_4 & m_4 & m_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & m_5 & m_5 & m_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & m_6 & m_6 & m_6 \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} b_1 + m_1c_1 \\ b_2 + m_2c_2 \\ b_3 + m_3c_3 \\ b_4 + m_4c_4 \\ b_5 + m_5c_5 \\ b_6 + m_6c_6 \end{bmatrix}$$

Se define toda la programación de cada línea que es el número de productos o partes que se procesan en cada línea cada cierto tiempo debe ser menor o igual a la cantidad máxima de productos de salida para cada línea.

3.3.6 Resultados del modelo

Con base en la definición de las variables del modelo se ingresan los valores al sistema Matlab, la tasa de producción, la cantidad de productos máxima por línea, tiempo de carga de los productos, cantidad de productos máxima por línea, tiempo de carga de los productos, velocidad máxima del montacargas y distancia o recorrido, estos valores previamente son hallados por la persona encargada en el área de almacenamiento de tal forma que puede aplicarse para otros tipos de organizaciones que incluyan un sistema similar al trabajado en el operador logístico.

A continuación, en la tabla 3 se demuestran los valores ingresados al modelo:

Tabla 3

Valores de las variables del modelo escenario Número 1

| Valores ingresados al modelo | | | |
|----------------------------------|---|--|----------------------------------|
| | <i>m</i> | <i>b</i> | <i>c</i> |
| Linea | Tasa de producción por segundo | Cantidad de productos maxima por linea | Tiempo de carga de los productos |
| 1 | .6 | 10 | 1 |
| 2 | .5 | 18 | 3 |
| 3 | .2 | 20 | 2 |
| 4 | .5 | 20 | 3 |
| 5 | .1 | 14 | 5 |
| 6 | .2 | 11 | 3 |
| Velocidad maxima del montacargas | | 2 m/s | |
| Lineas | Distancia entre las lineas (<i>d</i>) | Montacargas | |
| 0 a la 1 | 12 | | |
| 1 a la 2 | 16 | | |
| 2 a la 3 | 11 | 1 | |
| 3 a la 0 | 12 | | |
| 0 a la 4 | 19 | | |
| 4 a la 5 | 12 | | |
| 5 a la 6 | 8 | 2 | |
| 6 a la 0 | 5 | | |

Al correr el modelo en el software Matlab, los resultados se observan en las figuras 15 y 16, en las figuras 17, 18 y 19 se evidencian las gráficas que pueden arrojar el sistema para mayor comprensión de la situación.

En la figura 15, se tiene el resultado de los tiempos en segundos entre cada línea, es decir, de la línea 0 a la 1, de la 1 a la 2, de la 2 a la 3 y de la 3 a la 0 este cubriendo lo tiene el montacargas número 1. De las líneas 0 a la 4, de la 4 a la 5, de la 5 a la 6 y de la 6 a la 0 el montacargas número 2 tiene como función cubrir lo solicitado en esta parte

En este primer escenario, el mayor tiempo gastado es de la línea que esta entre el 4 y el 5 lo que significa que está a cargo del montacargas número 2, el menor tiempo gastado es de la línea de 0 (almacén) a la línea 1 a cargo del montacargas número 1, esto también se puede evidenciar en la figura 17.

El tiempo total del recorrido es de 91.8 segundos para este planteamiento, es posible modificar a minutos según como se crea conveniente. El valor de balance arrojado, es de -4, 1 quiere decir que este es el tiempo desperdiciado que también se contempla como solución y que se muestra la respuesta en la figura 16. El dato de balance también puede ser interpretado según el signo que arroje, puede ser positivo o negativo, si es positivo, quiere decir que el primer montacargas se utiliza más tiempo, si es negativo es el segundo montacargas que esta con mayor ocupación.

Los dos últimos valores mencionan los tiempos del primer y segundo montacargas, el cual tiene mayor ocupación el montacargas 2 con 48 segundos y el primer montacargas con 43 segundos (Ver figura 15).

```

TiempoEntreCadaLinea =

    8.0824
   14.0824
    9.5824
   12.0824
   11.5000
   16.0000
   10.0000
   10.5000

TiempoTotal =

    91.8296

Balance =

   -4.1704

Dura más el montacargas 2
TiempoCiclo =

    48.0000

TiempoPrimero =

fx    43.8296

```

Figura 15. Resultados de tiempos y balance. Fuente. Matlab

En la figura 16, los datos arrojados por el sistema indican que el montacargas 2 dura más ocupado que el montacargas 1, el tiempo de ciclo, menciona cuanto demoran los dos montacargas en llegar al punto inicial, puesto que los dos montacargas no arrancan de nuevo desde el punto de partida hasta que los dos no estén de nuevo en el punto de inicio.

Como se mencionaba anteriormente el valor del tiempo desperdiciado está relacionado con el mismo valor del balance, que es 4,1 segundos.

Por último, el valor de los productos terminados o también empacados para las 6 líneas, es 26.2, 21.9, 8.7, 24.0, 4.8 y 9.6 respectivamente. Lo que quiere decir que la primera línea saco

más productos y la menor línea la numero 5. Esto también se puede evidenciar en la gráfica de la figura 18.

```

Dura más el montacargas 2
TiempoCiclo =

    48.0000

TiempoPrimero =

    43.8296

TiempoSegundo =

    48.0000

TiempoDesperdiciado =

    4.1704

ProdTerminados =

    26.2978
    21.9148
     8.7659
    24.0000
     4.8000
     9.6000

```

Figura 16. Resultados de tiempos y Numero de productos terminados. Fuente. Matlab

En la figura 17 están los tiempos de cada trayecto entre las líneas de la 0 a la 1, de la 1 a la 2, de la 2 a la 3 y de la 3 a la 0 este cubriendo lo tiene el montacargas número 1. De las líneas 0 a la 4, de la 4 a la 5, de la 5 a la 6 y de la 6 a la 0 el montacargas número 2. El recorrido de la línea entre la 4 y 5 es quien tiene el mayor tiempo gastado que equivale a 16.0 segundos.

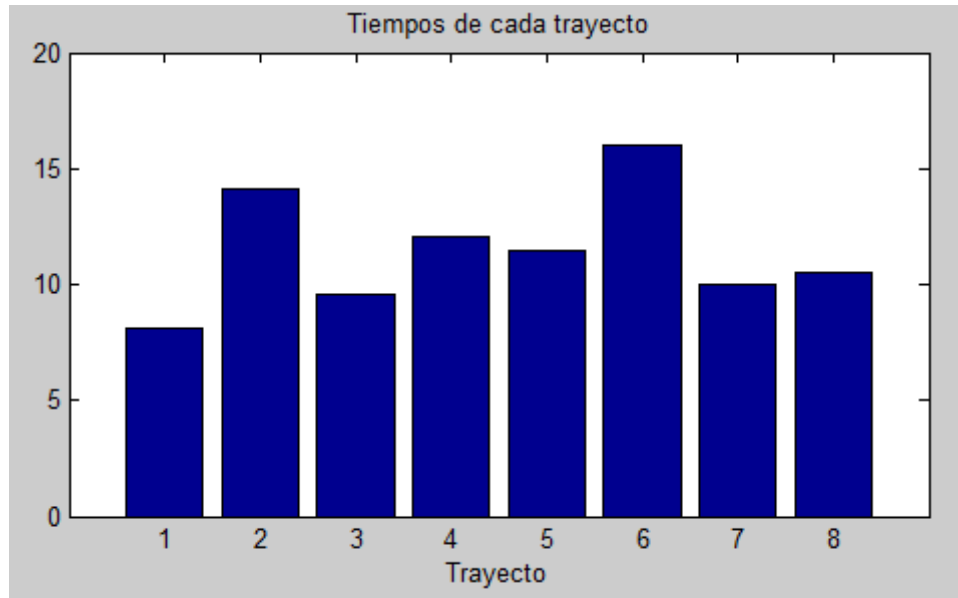


Figura 17. Resultados de tiempos de cada trayecto entre las líneas. Fuente. Matlab

En la figura 18 demuestra la cantidad de productos terminados o empacados de cada línea, para este escenario, la línea 1 tiene la mayor cantidad con 26. La menor cantidad con 4.8 lo tiene la línea 5. El modelo brinda la proyección de cómo se encuentra el acondicionamiento de la operación, con base al resultado da la oportunidad de saber si algún montacargas queda desocupado por algún momento, de tal forma que podría cubrir otro tipo de operaciones ya sea despacho o recepción.

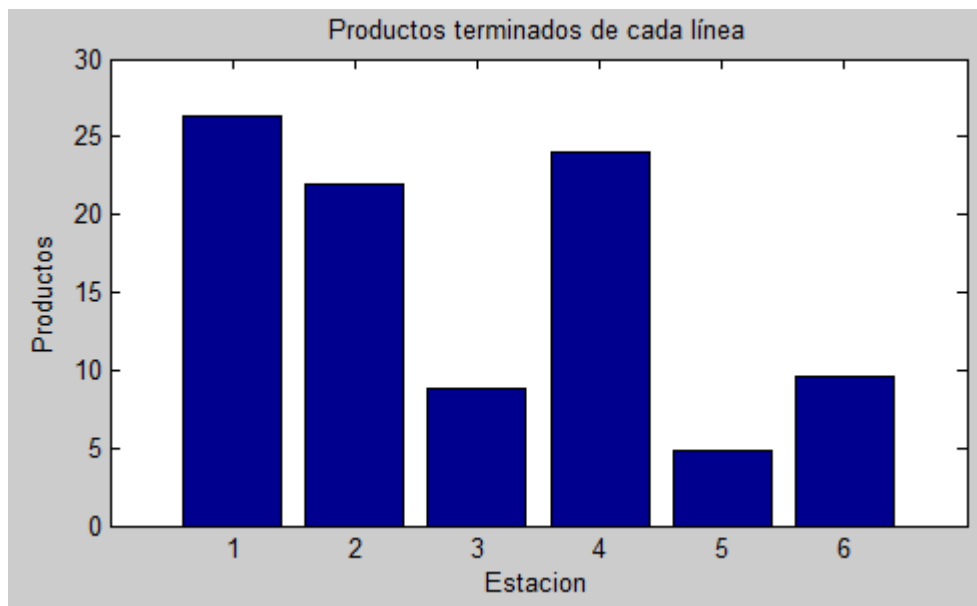


Figura 18. Resultados productos terminados o empacados de cada línea. Fuente. Matlab

Esta última grafica del software me informa que montacargas tiene mayor uso, lo cual me da el punto de partida para saber que decisiones tomar, y como mejorar la eficacia de ambos montacargas que inicialmente están contemplados o analizar si es necesario adquirir otro montacargas más para la operación que se lleve a cabo.

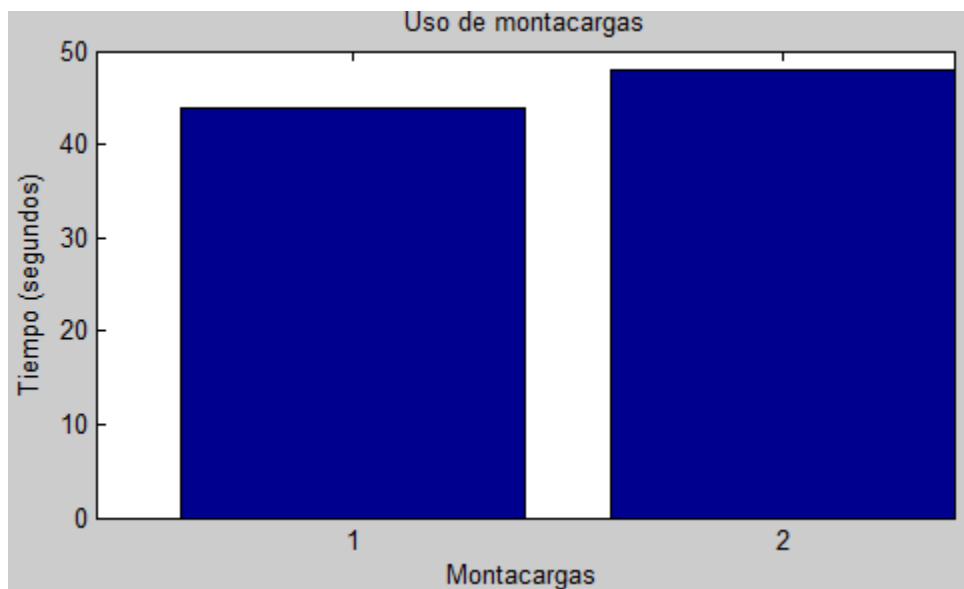


Figura 19. Resultados del uso de montacargas. Fuente. Matlab

El modelo permite ingresar valores para aplicar a otros tipos de operaciones similares en organizaciones también equivalentes, es decir, según como varíe la operación, se puede modificar tiempo de carga, la cantidad de productos que puede procesar cada línea en cierto intervalo de tiempo, y así mismo brinda la solución de cantidad y tiempo de los productos terminados o también podría llamarse productos empacados y el tiempo de utilización de los dos montacargas que inicialmente se contemplan.

Con relación a esto, se realiza otra iteración como segundo escenario, la información ingresada es la siguiente:

Tabla 4

Valores de las variables del modelo Escenario Numero 2

| Valores ingresados al modelo | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| | m_i | b | c_i |
| Linea | Tasa de produccion por segundo | Cantidad de productos maxima por linea | Tiempo de carga de los productos |
| 1 | .1 | 12 | 3 |
| 2 | .2 | 14 | 4 |
| 3 | .1 | 16 | 4 |
| 4 | .4 | 18 | 5 |
| 5 | .3 | 19 | 6 |
| 6 | .5 | 20 | 7 |
| Velocidad maxima del montacargas | | 2 m/s | |
| Lineas | Distancia entre las lineas (d_i) | | Montacargas |
| 0 a la 1 | 8 | | 1 |
| 1 a la 2 | 7 | | |
| 2 a la 3 | 6 | | |
| 3 a la 0 | 7 | | 2 |
| 0 a la 4 | 7 | | |
| 4 a la 5 | 6 | | |
| 5 a la 6 | 5 | | |
| 6 a la 0 | 6 | | |

Al correr el modelo en el software Matlab, los resultados se observan en las figuras 20 y 21, en las figuras 22, 23 y 24 se evidencian las gráficas que pueden arrojar el sistema para mayor comprensión de la situación.

A partir de los datos ingresados para generar un escenario diferente al planteado inicialmente, los resultados demuestran que hay un tiempo mayor de uso con base al planteamiento inicial, pero con un balance con signo positivo y de valor menor, tan solo de 1,7 segundos. (Ver figura 2)

```
TiempoEntreCadaLinea =  
  
    12.9357  
    14.4357  
    13.9357  
    16.4357  
     9.5000  
    15.0000  
    16.5000  
    15.0000  
  
TiempoTotal =  
  
    113.7427  
  
Balance =  
  
     1.7427
```

Figura 20. Resultados de tiempos y balance escenario número 2. Fuente. Matlab

Este balance al ser positivo nos indica que el montacargas número 1, es quien tiene mayor tiempo de uso, el cual es 57,7 segundos. Al compararlo con el planteamiento anterior se demoró 9,7 segundos más. En la figura 21 se demuestra que este mismo tiempo de balance, es el tiempo de desperdicio, en cuanto a los productos terminado de manera general el escenario 2 disminuye su número de productos terminados o empacados.


```
Dura más el montacargas 1
TiempoCiclo =

    57.7427

TiempoPrimero =

    57.7427

TiempoSegundo =

    56.0000

TiempoDesperdiciado =

    1.7427

ProdTerminadosoempacados =

    5.7743
   11.5485
    5.7743
   22.4000
   16.8000
   28.0000
```

Figura 21. Resultados de tiempos y Numero de productos terminados escenario número 2. Fuente. Matlab

En la figura 22 los tiempos de cada trayecto se consideran altos al compararlo con el único tiempo menor que es el número 5, el cual hace referencia de “0” o sea del almacén a la línea 4.

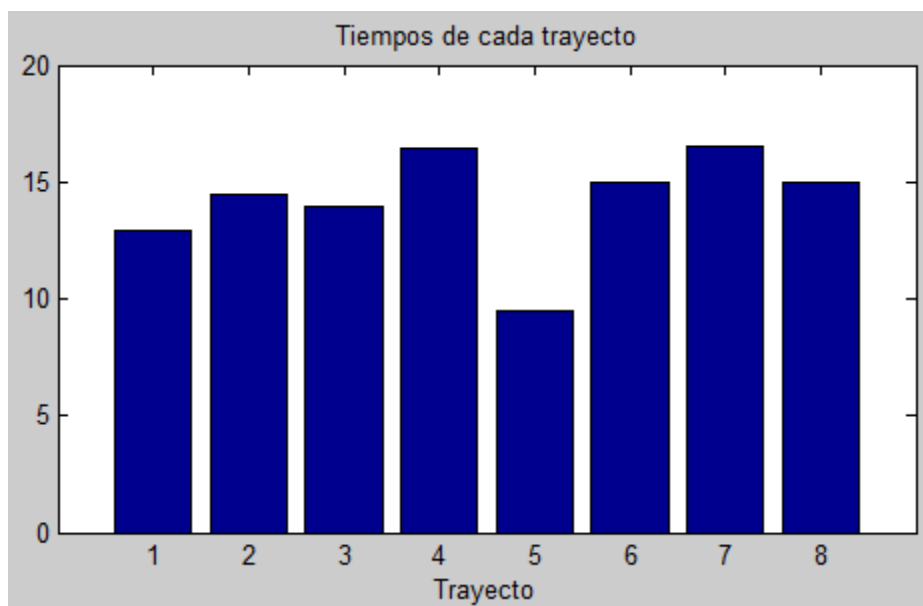


Figura 22. Resultados de tiempos de cada trayecto entre las líneas escenario número 2. Fuente. Matlab

Los productos terminados o empacados por línea como se demuestra en la figura 23, revela que la línea 6 alcanza 28 productos, mientras que la línea 1 y 3 mantienen igualdad con 3,7 unidades.

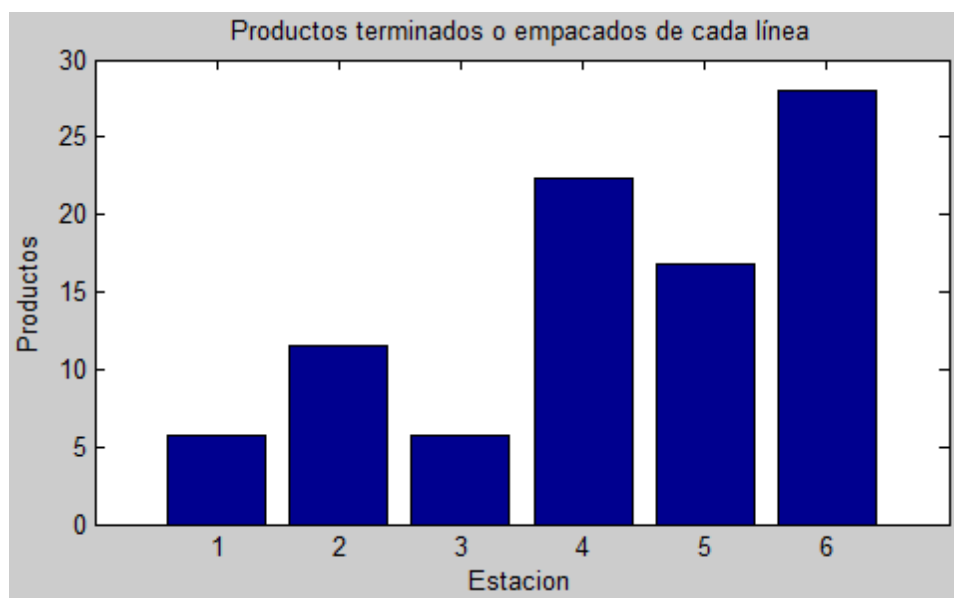


Figura 23. Resultados productos terminados o empacados de cada línea escenario número 2. Fuente. Matlab

Por último, en la figura 24 está representado cómo el montacargas 1 tiene mayor uso que el montacargas número 2, aunque solo es 1,7 segundos la poca diferencia podría llegar a no tener gran impacto, sin embargo, se aclara que este modelo o sistema se encarga de brindar la proyección de la situación del proceso, las personas como analistas o encargadas de esta área dentro de la organización donde se aplique son quienes deciden la mejor política según el objetivo que se quiere cumplir.

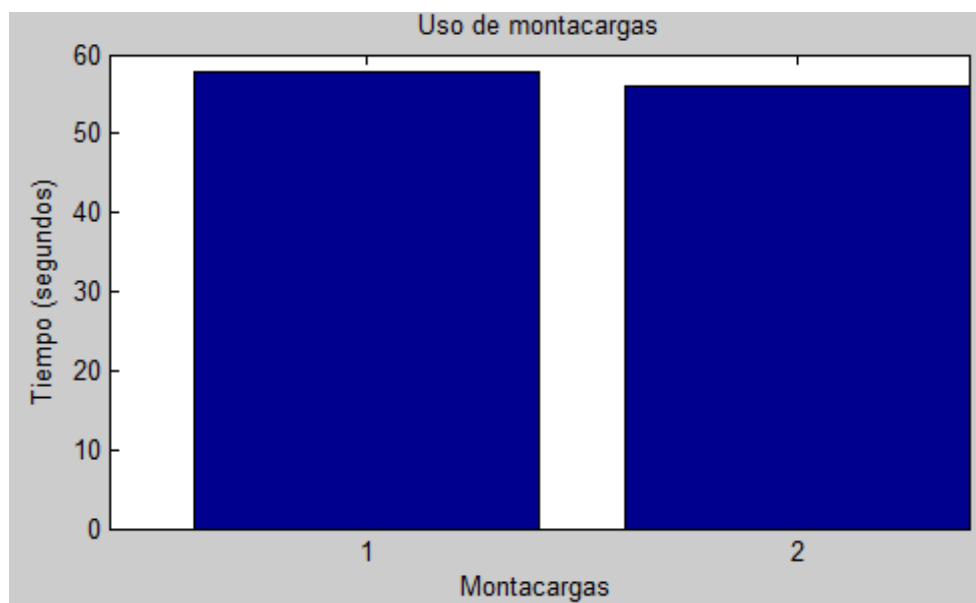


Figura 24. Resultados del uso de montacargas escenario número 2. Fuente. Matlab

La función objetivo arroja la maximización del tiempo de uso, sin embargo, la distancia entre las líneas y la parte de recepción o despacho es un factor muy importante que también hay que considerar como la velocidad del montacargas según su marca o modelo.

Este modelo podría llegar a implementarse bajo un perfil de supervisión ya que orienta lo que sucede entre las líneas y los montacargas

4 Conclusiones

Es un sistema con bases automáticas que maximiza el tiempo para la utilización de los montacargas logrando identificar en que momento hay un tiempo muerto con una iteración inmediata para respuesta rápida.

El mismo sistema se encarga de actualizarse con base a los tiempos para que ninguna línea se desborde de entrada y salida, ya que todas las líneas comienzan en cero y se cuenta con la respuesta de la variable de balance quien relaciona hasta qué punto los montacargas tienen una mayor ocupación.

El método Pert-cpm junto con el desarrollo del modelo simplex se toman como complementos para ser suficiente como método de optimización. No se logra describir una ruta crítica exacta, puesto que es secuencial el ciclo que esta propuesto.

En el modelo se evidencia los tiempos entre cada línea, que está dado por segundos, hay un tiempo total de los montacargas en movimiento y su debida compensación, es un sencillo modelo que llega a reflejar una realidad y brinda así mismo la oportunidad de saber qué rumbo toma la decisión para mejorar el proceso

Se podría llegar a potencializar este modelo, para un siguiente nivel de automatización, donde intervengan pseudocódigos, fases de iteración gráficas, redes neuronales que pueda representar datos más específicos, como hora de llegada y salida de mercancía, días en la semana que se recibe o se despacha mercancía. Cabe aclarar igualmente, que este modelo, sirve como base para desarrollar programas para aplicar en áreas como sistema masivo de transporte, puede llegar ayudar a microempresas y ser aprovechado por sistemas automatizados en diferentes campos de

ingeniería. Puesto que MATLAB Puede ejecutar sus análisis en conjuntos de datos de mayor tamaño y escalar a clústers y nubes, el código MATLAB se puede integrar con otros lenguajes. lo que permite desplegar algoritmos y aplicaciones en sistemas web, empresariales o de producción.

5 Referencias

- A., F. (1989). Asymmetry in energy system uncertainty. *IEEE Transactions on Systems*, 1053-1059.
- Ashok Kumar, Z. M. (1997). A dynamic Tool Requirement Planning Model for Flexible Manufacturing Systems. *International Journal*.
- Aydim, Y. (2014). *Value added trade, global valu chains, and trade policy: renewed push for trade liberalization*. Bélgica: University of Antwerp Centre for Institutions and Multilevel Politics Belgium.
- Aykut Atah, H. L. (2006). If the Inventory Manager Knew: Value of visibility and RFID under imperfect Inventory Information. *Stanford University*, 34-45.
- Banco Mundial. (28 de 06 de 2016). <http://www.bancomundial.org>. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/06/28/germany-tops-2016-logistics-performance-index>
- Barahona, G. C. (2000). *Simulación Discreta*. Santiago de Calí: Oficina de artes gráficas Pontificia Universidad Javeriana.
- Barbara Gladysz, D. S. (2015). Project risk time management - a proposed model and a case study in the construction industry. *ELSEVIER*, 24-31.
- Bender, E. A. (1978). *Introduction to mathematical modeling*. USA: John Wiley & Sons.
- Bhanuteja Sainathuni, P. J. (2014). El problema de almacén-inventario-transporte para las cadenas de suministro. *European Journal of Operational Research*, 690-700.
- Bikram Sharda, N. A. (2012). Selección de make-to-acciones políticas y de aplazamiento para diferentes productos en una fábrica de productos químicos: Un estudio de caso utilizando simulación de eventos discretos. *Revista Internacional de Economía de la Producción*.
- Bretthauer, K. (1995). Capacity Planning in networks of queues with manufacturing applications. *Pergamon*, 35-46.
- Burkard, D. (2009). Assignment Problems. *USA, Society for Industrial and Applied Mathematics*, 2.
- Comercio, O. M. (2010). *Servicios de Logística, Nota de la Secretaría*. Consejo del Comercio de Servicios.
- Competitividad, C. P. (s.f.). *WWW,compite.com.co/*. Obtenido de Capítulo 6. Infraestructura, transporte y logística: <http://www.compite.com.co/site/wp-content/uploads/2012/10/6-Infraestructura-Transporte-y-Logistica.pdf>
- Cooper, K. (1980). Naval ship Production: a claim sttled and a framework built. *Interfaces*, 20-36.

- Corral, M. P. (2015). *Encuesta Anual de Servicios*. Bogotá: Boletín Técnico del DANE.
- Desarrollo, Plan Nacional de. (2014). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Bogotá: Versión preliminar para Discusión del Consejo Nacional de Planeación.
- DH, M. (1980). The Unavoidable A Priori. *Elements of the System Dynamics Method, Productivity Press*, 23-57.
- EUROPEA, P. A.-U. (31 de Diciembre de 2013). *UE.PROCOLOMBIA.CO*. Obtenido de PROCOLOMBIA EXPORTACIONES TURISMO INVERSIÓN MARCA PAÍS: <http://ue.procolombia.co/abc-del-acuerdo/generalidades-del-acuerdo>
- Evans, D. C. (1994). *The service Quality Solution: Using service management to gain competitive advantage*. Ridge Illinois: Thompson Ediciones.
- F.A, K. J. (2006). A model for warehouse layout: Un modelo para la distribución del almacén. *RSM Erasmus University, The Netherlands*, 1-16.
- Feng Yang, J. L. (2012). Transferencia de modelado función basada en la simulación para el análisis de transitorios de sistemas de colas generales. *European Journal of Operational Research*.
- Figueroa, S. I. (2009). Identificación Robusta de Modelos Wiener y Hammerstein. *CEA Comité Español de automática*, 46-55.
- Figueroa, S. I. (2009). Identificación Robusta de Modelos Wiener y Hammerstein. *CEA Comité Español de automática*.
- Ford, D. a. (1998). Dynamic modeling of product development processes. *System Dynamics Review*, 31-68.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge: Waltham, MA.
- Fredrik Persson, M. A. (2009). El desarrollo de un análisis de la cadena de suministro de herramientas de integración dinámica de SCOR y simulación de eventos discretos. *Revista Internacional de Economía de la Producción*, 574-583.
- Gabriel Escobar, M. S. (2013). *Estudio para la gestión del almacenamiento de producto terminado en una empresa del sector logístico*. Santiago de Calí: Trabajo de grado.
- Garcia, L. A. (2011). *Gestión logística en centros de distribución, bodegas y almacenes*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Gordillo, J. A. (1997). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza editorial.
- Gustavo Ordoñez Quintana y Ernesto quiroga gutierrez. (1992). Administración de almacenes, bodegas y centros de distribución. (pág. 60). Bogotá: incolda.

- Hernandez, G. B. (2011). *Estudio de la desintermediación de una cadena de suministro de consumo masivo, modelación con dinámica de sistemas*. Cali: Universidad el Valle.
- Ivan Beker, V. J. (2011). using shortest-path algorithms for forklift route planning and optimization. *XV International Scientific Conference on Industrial Systems, Serbia*, 34-43.
- J Banks, J. C. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. USA: Second Edition, Prentice-Hall International.
- J.A Orjuela, I. H. (2008). *Modelo Integral y Dinámico para la Gestión de empresas de Servicios*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Jóhannsson, E. H. (2011). *Previsión y optimización para un modelo*. Reykjavik: Universidad Reykjavik.
- Jr, D. S. (1998). *Planeación y control de la Producción*. México: Primera edición McGraw-Hill.
- Jun-Yan, L. (2012). Schedule Uncertainty Control: A Literature review. *ELSEVIER*, 1842-1848.
- Kelen C Teixeira, J. P. (2009). AUTOMATIC ROUTING OF FORKLIFT ROBOTS IN WAREHOUSE. *20th international congress of Mechanical Engineering*, 67-76.
- Kogan, J. y. (2006). Inventarios y costos logísticos en países en desarrollo: niveles y determinantes, una bandera roja para la Competitividad y el Crecimiento. *Revista de la Competencia y la Propiedad Intelectual*.
- Koster, K. J. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *Erasmus University Rotterdam*, 24-35.
- Kwame Owusu Kwateng, K. k. (2014). Outbound logistics management in manufacturing companies in Ghana. *Review of business and finance studies*, 83-92.
- L. Preziosi, L. B. (1995). *Modelling Mathematical Methods and Scientific Computation*. CRC Press.
- L., E. A. (1981). *Estudio de Factibilidad para establecer un centro de distribución de productos perecederos en Ibagué*. Ibagué: Universidad del Tolima.
- Lieberman, F. H. (2002). *Introducción a la investigación de operaciones*. México: McGraw-Hill.
- Loo, C. L. (2009). A SIMULATION STUDY OF WAREHOUSE LOADING AND. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 45-56.
- Maharesi, R. O. (2013). Decision support System of Herb's Production Scheduling Based On good Traditional Medicine Manufacturing Practices (GTMMMP) Standar. *ELSEVIER*, 613-617.
- Maram Shqair, S. A.-S. (2005). Un estudio estadístico que emplea el modelado basado en agentes para estimar los efectos de los diferentes parámetros de almacén en la distancia recorrida en los almacenes. *Simulación Práctica y Teoría Modelado*, 122-135.

- Matta, A. A. (2013). Programación matemática algoritmo de descomposición basada en el tiempo para la simulación de eventos discretos. *European Journal of Operational Research*, 557-566.
- Mete MAZLUMa, A. F. (2015). CPM, PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique. *ELSEVIER*, 348-357.
- Min-de Shen, L.-q. C.-m.-n. (2014). theory research of intensive and automatic warehouse system based on lane switch shuttles. *5 th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI 2014)*, 44-56.
- Montellano, C. G. (2011). Validación y calibración experimental de modelos de elementos discretos en 3D para la simulación del flujo de descarga en silos. *European Journal of Operational Research*.
- Moreno Velásquez Luis, V. H. (2006). Solución al problema combinado de ubicación estratégica de almacenes y asignación de inventarios usando técnicas heurísticas. *RedDyna*, 5-17.
- Mundial, F. E. (01 de Septiembre de 2015). *WORLD ECONOMIC FORUM*. Obtenido de Informe de Competitividad: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016/economies/#indexId=GCI&economy=COL>
- Mundial, G. B. (2012). *El desempeño a nivel mundial de la logística comercial disminuyó en medio de la recesión y de acontecimientos importantes*. Washington: Grupo Banco Mundial BIRF-ALF.
- Mundial, G. B. (2014). *Informe del índice de desempeño logístico: La brecha se mantiene*. Washington: Grupo Banco Mundial BIRF-ALF.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON Prentice Hall Cuarta Edición.
- Planeación, D. N. (2015). *DNP lanzará Plan Maestro Logístico para Colombia en 2016*. Bogotá: Portal Web DNP.
- Planeación, Departamento Nacional de. (2015). *DNP revela resultados preliminares de la Encuesta Nacional Logística*. Bogotá: Portal Web DNP.
- Portafolio.co. (6 de febrero de 2018). <http://www.portafolio.co/economia/colombiana>. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/colombiana>: <http://www.portafolio.co/economia/colombiana-creceria-un-3-en-2018-513985>
- Prins, A. C. (2010). Recent Results on Arc Routing Problems: An Annotated Bibliography. *METWORKS, An international Journal*, 12-19.
- R.B Chase, F. J. (2005). *Administración de la producción y operaciones para ventaja competitiva*. México: McGraw-Hill.
- Rafal Cupek, A. Z. (2016). agent-based manufacturing execution system for-series production scheduling. *ELSEVIER, computers in Industry*, 245-258.

- RD Meller, K. G. (2014). Un modelo de diseño de pasillo constructivo para los almacenes de carga unitaria con múltiples puntos de recogida y depósito. *European Journal of Operational Research*.
- Riezebos, J. (2003). Liberación de órdenes de trabajo y balance de capacidad en manufactura sincronizada. *Production Systems Design /Department of Operations/University of Groningen*, 7-16.
- Ritzman, L. K. (2000). *Administración de operaciones, estrategia y análisis*. México: Pearson Education.
- Robert Bateman, R. B. (1992). *System Improvement Using Simulation*. Promodel Corp.
- Roberto Cigolini, P. M. (2005). La vinculación de la configuración de la cadena de suministro para abastecer performance cadena: Un modelo de simulación de eventos discretos. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 1-11.
- Sekar Sundararajan, S. W. (1998). Application of a Decision Support System for operational decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 33-41.
- Shakeri, M. (2011). Truck Scheduling Problem in Logistics of Crossdocking. *School of Computer Engineering, Nanyang Technological University*, 1-28.
- Soto de la Vega Diego, V. J. (2014). Metodología para la localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización. *DyneRed*, 14-19.
- Spearman, W. H. (2001). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. New York: McGraw-Hill.
- Stefan Vonolfen, M. K. (2012). OPTIMIZING ASSEMBLY LINE SUPPLY BY INTEGRATING WAREHOUSE PICKING AND. *Winter Simulation Conference*, 56-69.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Education.
- Thompson, G. M. (1995). Labor scheduling using NPV estimates of the marginal benefit of additional labor capacity. *Journal Of Operations Management*, 4-15.
- TOMÁS MANUEL BAÑEGIL PALACIOS, A. C. (2015). *MANUAL DE DIRECCIÓN DE OPERACIONES*. Madrid: COPYRIGHT.
- Umut Rifat Tuzkaya, S. O. (2009). Una metodología de integración enfoque basado holónico para funciones de transporte y almacenamiento de la red de suministro. *Informática e Industrial Ingeniería*, 708-723.
- Villa, J. P. (2005). Enfoque no paramétrico para el filtrado de sistema de tiempo discreto no lineal y parametros desconocidos. *Deheuvels*, 120-134.

- Viquez, J. U. (1999). *Programación de Operaciones*. Heredia: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Walker WE, H. J. (2003). Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 5-17.
- Wen-Qiang Yang, L. D. (2013). Warehouse scheduling performance analysis considering LHRL. *Verlag Berlin Heidelberg*, 136-142.
- William Marin Marin, E. V. (2013). Desarrollo e implementación de un modelo. *Revista EIA*, 2-14.
- Zhao, J. Q. (2012). Algorithm of finding Hypo-Critical path in network planning. *ELSEVIER*, 1520-1529.