

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE ASIGNACIÓN DE CLIENTES E INVENTARIOS EN LA RED LOGÍSTICA DE UNA EMPRESA DEL SECTOR QUÍMICO.

OPTIMIZATION MODEL TO SUPPORT THE MAKING DECISIONS OF CUSTOMER AND INVENTORIES' ASSIGNMENT IN THE LOGISTICS NETWORK OF A CHEMICAL SECTOR COMPANY

Mejía Merino Luis Arturo ¹, Maya Duque Pablo Andrés ²

^{1 y 2} Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín –Colombia, luis.mejia@udea.edu.co

Resumen. Se estudia la red de distribución de una empresa manufacturera que presenta actividades que no generan valor como traslados repetitivos entre bodegas, almacenamiento de productos donde no se tiene rotación, atención de clientes desde centros de distribución que se encuentra geográficamente más alejados. Las ineficiencias afectan los costos operacionales de abastecimiento y distribución para atención de clientes alcanzando niveles del 17% del costo logístico. El objetivo general es optimizar los costos operativos de inventario y distribución a través de un modelo lineal con solución exacta que permita la asignación de los clientes y los inventarios a las bodegas. Los modelos revisados en la literatura permiten encontrar qué clientes son atendidos desde cada bodega, respetando las capacidades de las bodegas seleccionadas, cumpliendo con la entrega de la demanda, minimizando los costos de operar y asignar los clientes. A partir de la asignación a las bodegas para minimizar el costo de operar es necesario encontrar la cantidad total de demanda a satisfacer teniendo en cuenta el costo necesario para distribuir el producto a los clientes, respetando capacidades de las bodegas, traslados entre centros de distribución y minimizando costo por unidad de satisfacer las zonas de clientes.

Palabras Clave: Inventario, distribución, asignación de clientes.

Abstract. A manufacturing company distribution network is studied which represents activities that do not add value like repetitive and unnecessary dispatches between warehouses, product's warehousing where there is not rotation, customer's attention's from distribution centers located too far apart. The inefficiencies impact the operational costs of the supply and distribution system in customer service reaching levels of 17% of the logistic cost over the sales compared with the 6% expected by the company. The general objective is to optimize the operational costs of inventory and distribution through a linear model with exact solution that allows the customer's assignment and inventories to the respective warehouses. The literature models reviewed allow us to find which customers are served from each open warehouses, taking into account warehouses'

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

capacities, fulfilling the demand, minimizing the operating costs and customer assignment. From the right warehouses' assignment to minimize the operate costs, it is necessary to find the total demand's amount required to satisfy, taking into account the cost to deliver the customer's products, respecting warehouse's capacities, dispatches between distributions centers and minimizing the unit cost to satisfy the customer's zones.

Key Words: Inventory, distribution, customer assignment.

INTRODUCCIÓN

La distribución es una directriz clave de la rentabilidad total de las compañías, debido a que afecta de manera directa tanto los costos de la cadena como la experiencia del cliente. Para determinar qué tan eficiente o ineficiente se encuentra la red de distribución que tiene la compañía se mide con el indicador de los costos logísticos sobre las ventas y así se puede visualizar las oportunidades de mejora dentro del diseño actual de la red de distribución. Surge la necesidad de diagnosticar la red de distribución actual para identificar las actividades que no generan valor y qué la hacen ineficiente y costosa.

El costo logístico de una empresa está constituido por los costos en que se incurre para garantizar un determinado nivel de servicio a sus clientes. Las compañías buscan cada vez más reducir sus costos logísticos para ser competitivas a nivel comercial, y así lograr un factor diferenciador con respecto a la competencia; adicional a esto los puntos adecuados de atención a los clientes que logren acortar las distancias y almacenar las cantidades correctas para evitar incurrir en costos logísticos que no generan valor a la operación y afectan de manera directa la rentabilidad del producto. Los costos de logística en Colombia para las empresas representan el 13,5% de las ventas, es decir, \$13,5 de cada \$100 del valor de un producto se invierte en este tipo de gastos DNP, (2018). Además, la industria logística, aparte de los altos costos, enfrenta otros problemas en la distribución de mercancías tales como el desfase en los tiempos de entrega, pedidos incompletos y daños o errores en los documentos.

En las empresas colombianas en promedio los costos logísticos se componen de almacenamiento (46,5%), transporte y distribución (35,2%), administrativos y servicio al cliente (11,1%), Otros costos (7,2%) DNP, (2018). Los retos están dados en la gestión de cada uno de estos componentes y encontrar los principales factores que alteran estos costos, y así lograr adaptar un modelo para reducirlos y volver más eficientes las operaciones necesarias para satisfacer las necesidades del mercado.

Este trabajo se enfocará en estudiar los problemas asociados con la asignación de los clientes y los modelos de aprovisionamiento que impacten en los costos logísticos, para encontrar mediante modelos de optimización de programación lineal con solución exacta mejores prácticas que eliminen las actividades que no generan valor en el almacenamiento y distribución de los productos

de una empresa del sector manufacturero dedicada a la fabricación y comercialización de pinturas especializadas y de alto desempeño.

MARCO TEÓRICO

Planteamiento del problema

Para el 2017 la empresa objeto de estudio tuvo 155 días de inventarios en promedio cuándo la meta se encontraba en 90 días y el indicador de pedidos perfecto fue del 66% cuándo la meta fue de 80%, el cumplimiento a los pronósticos en promedio del 8% cuando el objetivo fue entre el 50% al 70%. El costo logístico sobre las ventas de la empresa en cuestión fue en promedio del 17% y se encuentra por fuera de la meta de la compañía del 6%. La actual red de distribución posee actividades que no generan valor como traslados repetitivos e innecesarios entre centros de distribución, almacenamiento de productos donde no tienen rotación, atención de clientes desde centros de distribución que se encuentra geográficamente más alejados que otros, ubicación de los inventarios sin tener en cuenta nodos de demanda, traslados de productos sin consolidación de carga y por fuera de los tiempos establecidos en los cronogramas de despacho y falta de modelos de inventario de reaprovisionamiento. Lo anterior es un reflejo de una red de distribución con actividades logísticas ineficientes que afectan los costos logísticos necesarios para operar el sistema de distribución y abastecimiento. En la figura 1 se encuentra resumida la red logística con 3 Centros de Distribución y una planta de producción.

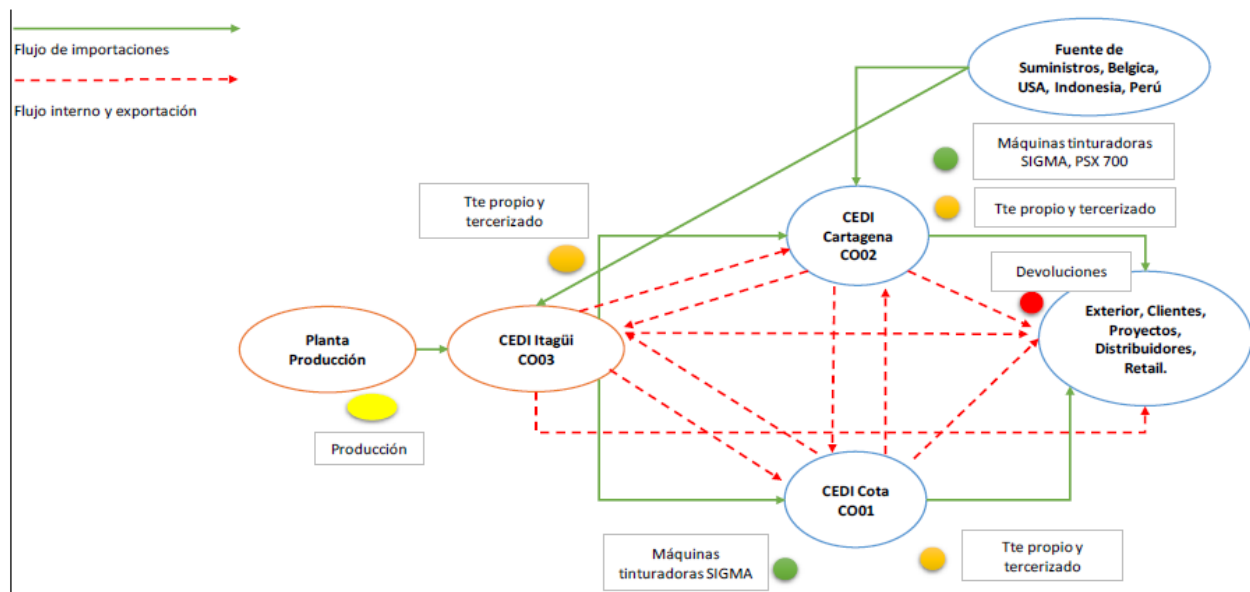


Figura 1. Red logística actual de Empresa caso de estudio.

Con el uso de la georreferenciación se determina que la ubicación de las plantas actuales no se ha realizado con un estudio previo para determinar en términos de costos logísticos donde deberían

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

estar ubicados e incluso con las bodegas ubicadas cuáles serían los clientes a atender para reducir los costos de almacenamiento y transporte. En la figura 2 para el departamento de Cundinamarca gráficamente se observa que los clientes se ubican distanciados de la bodega de la compañía y de esta forma ocurre para el resto de departamentos.

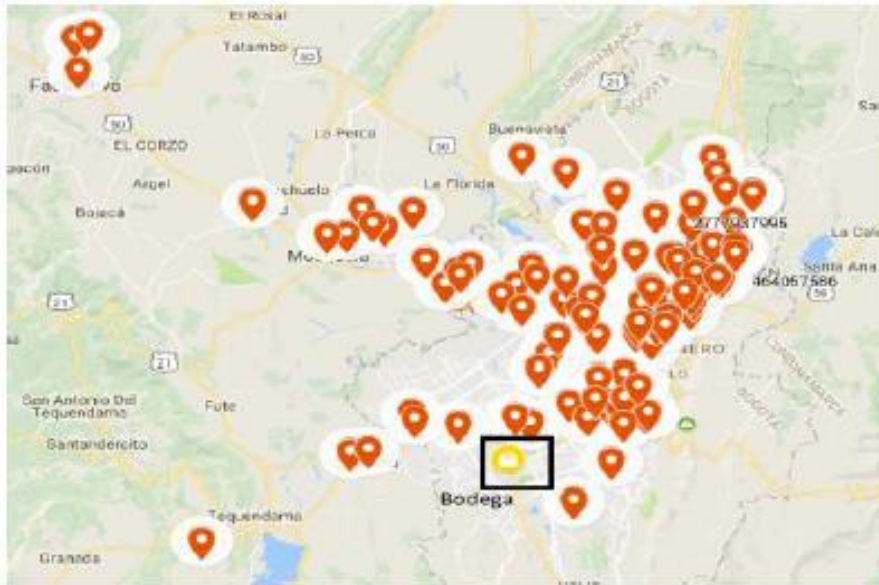


Figura 2. Georreferenciación de clientes y bodegas del departamento de Cundinamarca para la Empresa caso de estudio.

Con base a lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo asignar correctamente los clientes y los niveles de inventarios en la red logística de la empresa para apoyar la toma de decisiones tácticas?

Análisis de la literatura

La pregunta planteada ¿Cómo asignar correctamente los clientes y los niveles de inventarios en la red logística de la empresa para apoyar la toma de decisiones tácticas? se sitúa entre dos problemáticas estudiadas en el ámbito logístico, las decisiones tácticas de asignación de clientes y modelos de inventario, es por ello que se revisa el marco teórico de estas dos problemáticas por separado, para después finalizar con los enfoques que las han abordado de manera integrada.

Para el caso de la asignación de clientes en estudios como Castañeda & Villegas, (2016) encontramos relevante dos componentes: El max covering para garantizar la máxima cobertura de la demanda desde cada punto donde se realizan los despachos orientado a garantizar pedidos perfectos. El P media model enfocado a minimizar las distancias promedio recorridas desde la instalación al cliente y esto es un aporte fundamental a la programación de los despachos para que los recorridos sean menores. El otro componente de inventarios se encuentra en Vidal, Londoño,

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

& Contreras, (2004) donde se enfoca en una bodega y múltiples puntos de venta bajo el paradigma de que siempre se tiene mucho de lo que no se vende y poco de lo que se vende. La red de estudio con N puntos de venta es una clásica forma de canal de distribución de las empresas de consumo masivo que deben tener puntos clave para poder formar un canal robusto que permita llegar a los clientes y estar más cerca de ellos para garantizar presencia territorial.

Los estudios revisados de inventarios, en Van Der Laan, Dekker, Salomona, & Ridder, (1996) se presenta un modelo (s, Q) para el control de inventario bajo remanufactura y eliminación de los pedidos devueltos. Se discuten los criterios para determinar el valor de s (punto de reorden) y Q (cantidad óptima) que permita que el modelo contenga la opción de deshacerse de los productos devueltos y minimice los costos generados por inventarios. En el modelo clásico de inventarios Ram, (1999) adaptado a varios puntos de venta a partir de un centro de distribución se presenta un óptimo (s, Q) como política de tipo de inventario de una red de producción y distribución con múltiples proveedores de reposición, un almacén central, que a su vez distribuye a un gran número de minoristas. Tanto asignación de clientes como modelos de inventarios se trabajan juntos en esta segunda parte para optimizar los costos de almacenamiento y transporte. En este orden de ideas en Camm et al., (1997) se ilustra la implementación de un modelo de operaciones para la empresa P&G basado en un clásico de problemas de localización UFL (Uncapacitated facility location) y combina adicional planes de traslado óptimos desde un centro de distribución a puntos de venta teniendo en cuenta las capacidades de las plantas de producción y distribución y en Brown, Keegan, Vigus, & Wood, (2001) se detalla la implementación de un modelo de optimización KPS (Kellogs planning system) para encontrar el mejor plan de producción, inventario y distribución que minimiza los costos de operación basado en un heurístico de tamaños de lote de Wagner & Whitin, (1958). En este estudio se observa la integración de varias decisiones logísticas en un sólo modelo para una estructura con una planta de producción, varios centros de distribución y almacenes donde en cada eslabón se deben tomar decisiones de distribución y almacenamiento. Según Kchaou Boujelben, Gicquel, & Minoux, (2016) un estudio donde se pretende optimizar los costos de distribución orientado bajo la asignación de grupos de clientes a los centros de distribución abordado a través de un problema de clúster, se descarta una asignación dinámica de clientes en un periodo dado para un centro de distribución y posiblemente en otro periodo para otro centro de distribución dependiendo de la fluctuación de la demanda. En resumen, esta revisión de la literatura permite crear las bases del modelo a través del estudio de las restricciones como: máxima distancia cubierta, un distrito de clientes que debe ser atendido por una bodega en el periodo definido, los despachos a los centros deben estar sujeto a la máxima capacidad del transporte, los niveles de inventarios deben estar ajustados a las restricciones de capacidad mínimas y máximas en cada centro de distribución. Se destaca el hecho de agrupar la demanda por distritos de clientes una vez estos fueron definidos para las correspondientes bodegas. Para estos modelos se emplea un método de solución aproximada a través de Heurísticas.

METODOLOGÍA

Desarrollo del modelo.

Después de revisar la literatura se procede al desarrollo del modelo de asignación de clientes y reaprovisionamiento. Se presenta el modelo matemático y su respectiva explicación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y los parámetros empleados.

Conjuntos

- $r = 1, 2, \dots, n$ Con $r \in R$ donde $R = \{1, 2, \dots, n\}$ es el conjunto de productos y $n = 4$ y 12 .
- $j = 1$ Con $j \in J$ donde $J = \{1\}$ es el conjunto de plantas.
- $l = 1, 2, \dots, m$ Con $l \in L$ donde $L = \{1, 2, \dots, m\}$ es el conjunto de bodegas y $m = 3$.
- $i = 1, 2, \dots, p$ Con $i \in I$ donde $I = \{1, 2, \dots, p\}$ es el conjunto de clientes y $p = 5$ y 12 .
- $k = 1, 2, \dots, \tilde{n}$ Con $k \in K$ donde $K = \{1, 2, \dots, \tilde{n}\}$ es el conjunto de proveedores y $\tilde{n} = 2$.

Variables de decisión

- Y_{rkl} : Cantidad a comprar del producto r al proveedor k almacenada en la bodega l (Kg).
- X_{rj} : Cantidad de lotes a producir del producto r por la planta j (#Lotes).
- S_{rll1} : Cantidad de unidades del producto r a trasladar de la bodega l a la bodega $l1$ (Kg).
- T_{rjl} : Cantidad de unidades del producto r a trasladar de la planta j a la bodega l (Kg).
- Q_{rli} : Cantidad de unidades del producto r a trasladar de la bodega l al cliente i (Kg).
- $I_{max_{rl}}$: Cantidad de inventario máximo del producto r en la bodega l (Kg).
- U_{rli} : Porcentaje de la demanda del producto r atendido por la bodega l para el cliente i (%).
- DN_{rl} : Cantidad de la demanda del producto r atendido por la bodega l (Kg).
- $Ead(l)$: Decisión de solicitar ó no capacidad adicional en la bodega l $\{1, si se requiere$ o $0, si no se requiere capacidad adicional de bodegas\}$ Sin unidades

Parámetros

- CA_{il} : Costo de atender el cliente i desde la bodega l (\$/Kg).
- CZ_{rll1} : Costo de trasladar el producto r desde la bodega l a la bodega $l1$ (\$/Kg).
- Cw_{rjl} : Costo de trasladar el producto r desde la planta j a la bodega l (\$/Kg).
- CP_{rj} : Costo de producir el producto r en la planta j (\$/Kg).
- CC_{rkl} : Costo de comprar el producto r al proveedor k que se traslada a la bodega l (\$/Kg).
- CI_{rl} : Costo del inventario del producto r en la bodega l (\$/Kg).
- CBE_l : Costo por kg en Bodega externa (\$/Kg).
- E_l : Capacidad de la bodega l (Kg).
- O_j : Capacidad de producción de la planta j (Kg).

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

- TL_{rj} : Tamaño de lote del producto r en la planta j (Kg).
- OC_{rkl} : Orden de compra del producto r al proveedor k que será recibida en la bodega l (Kg).
- DI_{ri} : Demanda del producto r por el cliente i (Kg).
- I_{rl} : Inventario del producto r en la bodega l (Kg).
- OP_{rjl} : Cantidad de producción en tránsito del producto r entre la planta j y la bodega l (Kg).
- OT_{rll_1} : Producto r en tránsito entre las bodegas l y l_1 (Kg).
- TR_{rl} : Tiempo de revisión del producto r en la bodega l (Meses).
- TA_{rl} : Tiempo de aprovisionamiento del producto r en la bodega l (Meses).
- $AE(l)$: Porcentaje de ampliación de la bodega l (%).

F. Objetivo: Minimizar

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} CA_{il} Q_{rli} + \sum_{l_1 \neq l} \sum_{l_2 \in L} \sum_{r \in R} CZ_{rl_1 l} S_{rl_1 l} + \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{r \in R} CW_{rjl} T_{rjl} + \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} CP_{rj} X_{rj} TL_{rj} + \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} CC_{rkl} Y_{rkl} + \sum_{l \in L} \sum_{r \in R} CI_{rl} I_{max_{rl}} + \sum_{l \in L} CBE_l * Ead_l * E(l) * AE(l) \quad (1)$$

Restricciones

$$Q_{rli} = DI_{ri} * U_{rli} \quad \forall r \in R, l \in L, i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L} U_{rli} = 1 \quad \forall r \in R, l \in L \quad (3)$$

$$DN_{rl} = \sum_{i \in I} Q_{rli} \quad \forall r \in R, l \in L \quad (4)$$

$$(1 + (TR_{rl} + TA_{rl})) * DN_{rl} \leq I_{max_{rl}} \quad \forall r \in R, l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{r \in R} I_{max_{rl}} \leq E(l) + AE(l) * E(l) Ead(l) \quad \forall l \in L \quad (6)$$

$$\sum_{r \in R} (X_{rj} * TL_{rj}) \leq O_j \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{l \in L} T_{rjl} \leq (X_{rj} * TL_{rj}) \quad \forall r \in R, j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} T_{rjl} + \sum_{k \in K} Y_{rkl} + \sum_{k \in K} OC_{rkl} + \sum_{j \in J} OP_{rj} + I_{rl} + \sum_{l_1 \in L} S_{rl_1 l} + \sum_{l_1 \in L} OT_{rl_1 l} - \sum_{l \in L} S_{rll_1} \geq DN_{rl} \quad \forall r \in R, l \in L, l_1 \in L \quad l = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{rkl} + \sum_{k \in K} OC_{rkl} + \sum_{j \in J} OP_{rj} + I_{rl} + \sum_{l_1 \in L} S_{rl_1 l} + \sum_{l_1 \in L} OT_{rl_1 l} - \sum_{l \in L} S_{rll_1} \geq DN_{rl} \quad l \neq 1 \quad (10)$$

$$Y_{rkl} \geq 0 \quad \forall r \in R, k \in K, l \in L \quad (11)$$

$$X_{rj} \geq 0 \text{ Entera} \quad \forall r \in R, j \in J \quad (12)$$

$$(13)$$

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

$$S_{rll_1} \geq 0 \quad \forall r \in R, l, l_1, l_2 \in L$$

$$T_{rjl} \geq 0 \quad \forall r \in R, l \in L, j \in J \quad (14)$$

$$Q_{rli} \geq 0 \quad \forall i \in I, l \in L \quad (15)$$

$$Imax_{rl} \geq 0 \quad \forall r \in R, l \in L \quad (16)$$

$$0 \leq U_{rl} \leq 1 \quad \forall r \in R, l \in L \quad (17)$$

$$DN_{rl} \geq 0 \quad \forall r \in R, l \in L \quad (18)$$

$$Ead(l) \geq 0 \text{ Binaria } \forall l \in L \quad (19)$$

La función (1) minimiza el costo logístico total compuesto por atender los clientes i desde la bodega l , los costos de traslados de los productos r entre bodegas l , los costos de traslado del producto r desde la planta de producción j , el costo de producción de productos r en la planta j , el costo de comprar del producto r desde el proveedor k , el costo del inventario máximo del producto r en la bodega l y el costo de emplear una bodega externa l . La restricción (2) garantiza que la cantidad total de productos r despachados desde la bodega l sea igual a la demanda total del cliente i asignada a cada bodega l . La restricción presentada en la ecuación (3) garantiza que se satisface el total de la demanda de cada cliente i . La restricción (4) establece que la demanda de producto r en cada bodega l es igual a la suma de las cantidades despachadas de dicho producto desde bodega l a los diferentes clientes i . La restricción (5) el inventario máximo debe cubrir cuándo menos la demanda ajustada por un factor de seguridad dependiente del tiempo de revisión y de aprovisionamiento. La restricción (6) evidencia que la sumatoria de los inventarios máximo de cada producto r no debe superar la capacidad de almacenamiento de la bodega l y en caso de superarla tiene un impacto en el costo logístico total porque se debe tomar la decisión de subcontratar otras bodegas l . La restricción (7) la cantidad total de la producción de los productos r no debe superar la capacidad de la planta j , donde TL_{rj} representa el tamaño del lote de producción del producto r en la planta j . En restricción (8) la cantidad de los productos r a trasladar desde planta j a bodega l no debe superar la cantidad producida. Las restricciones (9) y (10) garantizan que existe suficientes unidades para satisfacer la demanda en cada una de las bodegas (Ingresos y salidas en cada bodega). La restricción (9) aplica únicamente para el caso de la bodega 1 ya que solo la planta j está ubicada físicamente donde está también la bodega 1 mientras que la restricción (10) no tiene en cuenta los traslados desde la planta j porque las bodegas l se encuentran distantes geográficamente. En las restricciones de dominio de la (11) a la (20) las variables de decisión deben ser mayores o iguales a cero y para el caso de la cantidad de lotes a producir X_r debe ser un entero.

Evaluación del modelo desarrollado.

El modelo se implementó en Versión estudiantil FICO® Xpress Optimization. Dicho modelo se evaluó en dos instancias de prueba: La primera con 5 clientes, 4 productos y la segunda por 12 clientes y 12 productos que representan el pareto de ventas, 2 proveedores del exterior, 3 bodegas

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

ubicadas en Colombia: Itagüí, Cota y Cartagena y una planta de producción ubicada en el Municipio de Itagüí. De esta forma se encuentran los costos representativos que se pueden observar en la tabla 1:

Tabla 1. Costos del modelo.

Costos	SValor COP	%Participación
Costos despachar:	17,533,100	3%
Costo trasladar bodegas:	8,490,650	1%
Costo trasladar planta:	107,490	0%
Costo producir:	180,960,000	26%
Costo comprar:	122,910,000	18%
Costo inv:	360,037,000	52%
Costo mínimo:	690,038,000	100%

El costo del inventario y de producir son los representativos sobre el costo total. Uno de los puntos importantes a revisar se encuentra en medir la sensibilidad en los costos al variar el TA_{rl} el tiempo de aprovisionamiento, el cual representa un punto crucial a la hora de la definición de esta fórmula $(1 + (TR_{rl} + TA_{rl})) * DN_{rl} \leq I_{max_{rl}}$. Al variar el tiempo de aprovisionamiento del modelo se espera una reducción del costo total cuando se reduce el TA_{rl} tiempo de aprovisionamiento y una distribución de la demanda de los productos en todas las bodegas abiertas. Se realizan validaciones reduciendo 10% gradualmente el tiempo de aprovisionamiento que hace parte de la fórmula para el cálculo del inventario máximo de los productos. Las demandas de los productos están asignadas inicialmente de la siguiente forma y distribuyéndose entre la bodega 1 y 2.

Tabla 2. Estructura actual de bodega.

Asignación de la demanda		
Bodega	Productos	Demanda Kg
Bodega 1	1,2,4	28,286
Bodega 2	3,4	11,426
Bodega 3	0	0
Total Kg		39,712

Con la reducción gradual del tiempo de aprovisionamiento se evidencia una disminución lineal del costo total de la función objetivo. Al reducir en 7 días el tiempo de aprovisionamiento, el costo se reduce al 19% de acuerdo a la figura 3 y con la distribución de las bodegas al reducir los tiempos de aprovisionamiento la demanda de los productos se asigna a la bodega 1 y 2, siendo la bodega 1 la que representa el 99% del total de los kg asignados y lo que puede conducir al cierre de las otras bodegas.

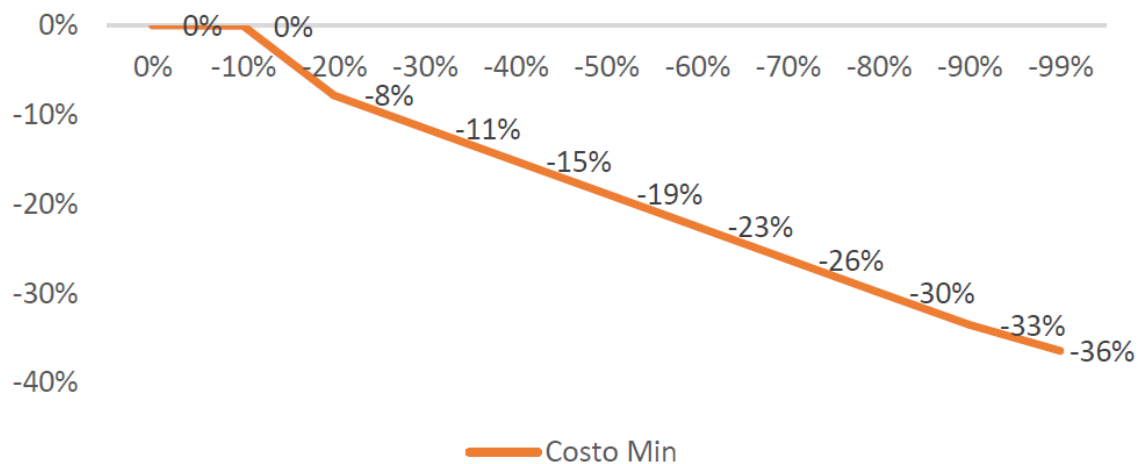


Figura 3. Reducción TA vs Costo Mínimo

Nueva distribución de la demanda de los productos en las bodegas abiertas.

Tabla 3. Estructura punto inflexión

Asignación de la demanda		
Bodega	Productos	Demanda Kg
Bodega 1	1,2,3,4	39,286
Bodega 2	2	426
Bodega 3	0	0
Total		39,712

Si se elimina el tiempo de aprovisionamiento y las entregas se realizan inmediatas lo máximo que reduce el costo total es del 36% y aunque se entregue 1.5 días antes de lo establecido el costo total no sufriría ninguna modificación. El modelo tarda para las instancias de prueba 20 segundos de ejecución.

CONCLUSIONES

Este trabajo desarrolló un modelo que permite apoyar la toma de decisiones en la asignación de clientes y la decisión de los niveles de inventarios en empresas de una estructura con planta de producción y N bodegas para garantizar el menor costo logístico y un mejor nivel de servicio. Lo relevante de los resultados con la implementación del modelo es que un cliente no tiene una única fuente de suministro y puede ser atendido desde varias bodegas para abastecer el mismo producto y de esta forma se garantizaría los menores costos posibles.

Cómo trabajo futuro se tiene pendiente validar el modelo teniendo en cuenta las consolidaciones de carga para las compras por diferentes tipos de contenedores y adicional contando con los tamaños de lotes por tipo de proveedor. A nivel local consolidar los traslados entre bodegas teniendo en cuenta las capacidades de los diferentes vehículos.

El modelo actual representa una foto estática en el tiempo del modelo de inventarios y las decisiones de reaprovisionamiento, se busca en estudios posteriores incluir la variable de tiempo para simular las decisiones de reaprovisionamiento con base a los pronósticos mes a mes.

Para la fórmula de inventario máximo se tiene pendiente incluir los errores cuadráticos medios como factor de variabilidad de los pronósticos según la literatura revisada y medir los indicadores de nivel de servicio y costo logístico para mirar la evolución con el modelo planteado.

REFERENCIAS

Brown, G., Keegan, J., Vigus, B., & Wood, K. (2001). The Kellogg Company optimizes production, inventory, and distribution. *Interfaces*, 31(6), 1–15. <https://doi.org/10.1287/inte.31.6.1.9646>

Camm, J. D., Chorman, T. E., Dill, F. A., Evans, J. R., Sweeney, D. J., & Wegryn, G. W. (1997). Blending OR/MS, judgment, and GIS: Restructuring P&G's supply chain. *Interfaces*, 27(1), 128–142. <https://doi.org/10.1287/inte.27.1.128>

Castañeda, C., & Villegas, J. (2016). Analyzing the response to traffic accidents in Medellín, Colombia, with facility location models. *IATSSR Research*. 41(1), 47–56 <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.09.002>

DNP. (2018). Encuesta Nacional De Logística Resultados Nacionales 2018, 21–23, 1.

Artículo No. 03. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Kchaou, M., Gicquel, C., & Minoux, M. (2016). A MILP model and heuristic approach for facility location under multiple operational constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 98, 446–461. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.06.022>

Ram, G. (1999). Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *International Journal of Production Economics*, 59(1–3), 341–354. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00115-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00115-7)

Van Der Laan, E., Dekker, R., Salomona, M., & Ridder, A. (1996). An (s, Q) inventory model with remanufacturing and disposal. *International Journal of Production Economics*, 46–47, 339–350. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00020-8)

Vidal Holguín, C., Londoño Ortega, J., & Contreras Rengifo, F. (2004). Aplicacion de modelos de inventarios en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y N puntos de venta. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 6(1), 35 - 52. <https://doi.org/10.25100/iyc.v6i1.2287>