

Modelo de transporte para el reabastecimiento de inventario en una red de tiendas retail

Nadia Cárdenas-Escobar M.Sc.¹, Ericka Moreira-Gómez M.Sc.¹, Sandra García-Bustos, Ph.D.¹

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador,
ncardena@espol.edu.ec; emoreira@espol.edu.ec; slgarcia@espol.edu.ec

Resumen- Se analiza a un retailer de moda que comercializa alrededor de 340 categorías de productos a través de sus quince tiendas. Con el fin de maximizar las ventas durante el período de exhibición de productos, el equipo de Planificación Comercial desarrolla una evaluación mensual de las ventas de SKUs e inventario por tienda, con el objetivo de identificar tiendas con exceso o falta de inventario para cumplir con los planes de ventas. El enfoque de este trabajo es el diseño de un modelo matemático que determinará los movimientos de inventario por SKU entre las tiendas. Por ello, se trabaja con un modelo de transporte multi-producto que se desarrolló en el software de optimización GAMS. Como resultado, se logra una mejor cobertura de la demanda, pasando del 21% con el método actual al 37% con el modelo de optimización. Adicionalmente, se obtuvo la reducción del 86% en los costos de transporte y se logró un 92% de ahorro de tiempo en el análisis que se realiza para la reubicación de estas mercancías.

Palabra claves—multi-producto, transporte, inventario, retail, modelo matemático.

Abstract— A fashion retailer that sells around 340 product categories through its fifteen stores is analyzed. In order to maximize the sales during the period of product showcase, the Commercial Planning team develop a monthly evaluation of the SKUs' sales and inventory by store, which has the aim of identifying stores with excess or lack of inventory to fulfil the sales plans. This work focusses on the design of a mathematical model which will determine the inventory movements by SKU among the stores. Therefore, it was decided to work with a multi-product transportation model that was developed in the GAMS optimization software. As a result, better coverage of demand was achieved, going from 21% with the current method to 37% with the optimization model. In addition, transportation costs were reduced by 86% and a 92% time savings was achieved in the analysis performed for the relocation of these goods.

Keywords—multi-product, transportation, inventory, retail, mathematical model

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.257>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

I. INTRODUCTION

Las nuevas estrategias de negocios de las tiendas departamentales de moda están enfocadas en el aceleramiento de venta a través de un cambio de surtido más frecuente en el piso de venta.

Para hacer posible estas estrategias las empresas están enfocando sus esfuerzos en la optimización de los procesos que están antes de la exhibición del producto, como son el diseño y la producción. Para dar continuidad con la cadena de abastecimiento, el presente proyecto pretende optimizar el proceso que se ejecuta durante la exhibición, que se alinea perfectamente con los anteriores al liberar espacio del piso de venta a través de la redistribución del inventario entre las diferentes tiendas de la empresa en estudio y así dar paso a las nuevas colecciones que refresquen la exhibición de las tiendas.

Disponer del suficiente inventario en los almacenes permite solucionar rápidamente los stockouts, ya que ni la producción ni el lead time de los proveedores suelen cumplir con el tiempo requerido para solventar una posible venta perdida. [1]

Desde este punto empieza a tener una mayor relevancia el seguimiento y el control de los inventarios, cuyo objetivo permite la reducción de gastos a través de la nivelación de los artículos depositados en los almacenes de las empresas.

En este contexto, el presente trabajo está enfocado en la identificación de tiendas o almacenes con excesos de inventario que puedan reabastecer a otras tiendas con quiebres del mismo.

La modelación matemática a través del problema de transporte tiene como utilidad principal la eficiencia de los costos del sistema de distribución. Este sistema es de gran importancia para las compañías porque de este depende el aumento de las ventas, la reducción de inventarios y la satisfacción de los clientes. Las aplicaciones del modelo van desde la determinación de ubicaciones para instalaciones de almacenamiento y/o producción, diseño de redes de distribución, hasta la asignación de tareas o recursos.

La mayoría de las aplicaciones encontradas al modelo de transporte muestran un enfoque en la localización de almacenes y en el abastecimiento desde las fábricas o desde los proveedores. Sin embargo, el presente trabajo tiene un enfoque diferente en donde los centros finales se reabastecen

entre sí y en donde la función objetivo no se plantea solo en el contexto de la reducción de los costos de transporte sino también en el contexto de maximización de la rentabilidad obtenida por la venta del inventario que logre trasladarse al centro requerido.

Descripción del problema

La empresa sujeta a estudio es un retail de moda y hogar con más de 78 años de experiencia en el mercado ecuatoriano que actualmente cuenta con 14 tiendas físicas y una online, las mismas se encuentran ubicadas en las ciudades de Guayaquil, Quito y Manta. La empresa comercializa alrededor de 340 categorías de producto que pueden describirse de forma general en prendas de vestir, accesorios, cosméticos, artículos para el hogar y tecnología.

El proceso de abastecimiento del inventario inicia con la determinación de las cantidades requeridas (cupos de compra) en cada clasificación y en cada tienda, estas cifras son proporcionadas por el planificador hacia el comprador para el ingreso de las órdenes de compra, una vez que el proveedor recibe estas órdenes inicia la producción de las colecciones desarrolladas por el Diseñador, la cual terminada, es entregada al Centro de Distribución que se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil. El centro de distribución se encarga de recibir las órdenes de todos los departamentos, realizar los procesos de etiquetado y embalaje en caso de que el proveedor no los realice y enviar la mercadería a las tiendas para su comercialización.

El 80% de los artículos que se exhiben en las tiendas están sujetos a colecciones de moda que tienen una duración de 90 días en el piso de venta, transcurrido este tiempo el inventario sobrante de cada colección entra a un proceso de liquidación.

Para maximizar la venta de los artículos durante los 90 días, el departamento de Planificación, responsable de la administración del inventario, realiza una revisión mensual de la venta y el inventario por tienda de cada sku a los 30 días de su exhibición, con el fin de identificar las tiendas con exceso o faltante de inventario para la cobertura de la venta en los días restantes.

Los traslados de inventario deben procurar realizarse entre tiendas pertenecientes a una misma región. De esa manera, cada tienda enviará las gavetas por concepto de traslado de inventario al centro de distribución, siempre y cuando los movimientos sean entre tiendas de costa o entre tiendas de diferente región. Además, cada tienda tiene un máximo de 2 días laborables para enviar el inventario requerido.

El centro de distribución consolidará las gavetas por traslado de inventario y las enviará a cada tienda destino junto con las gavetas correspondientes a los nuevos ingresos de inventario. El esquema de esta explicación se muestra en la Fig. 1, en la que se expone las posibles rutas ente tiendas.

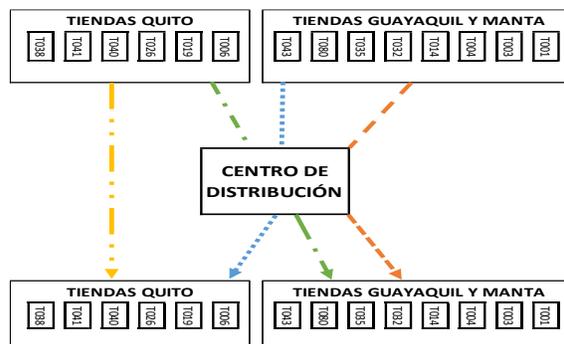


Fig. 1 Rutas entre tiendas

Por otra parte, el análisis manual de para la clasificación requiere de 1 a 3 horas de trabajo lo que implica una semana de trabajo al mes. El equipo de planificadores que realizan en promedio 40 clasificaciones muchas veces no logra terminar con su trabajo a tiempo, es por este motivo que resulta imprescindible que automatizar esta actividad y consecuentemente, aumentar la productividad del equipo y disminuir el inventario que llega a liquidación por no haber sido trasladada a la tienda como faltante.

Considerando el antecedente expuesto, este trabajo se enfoca en diseñar un modelo matemático que determine los movimientos de inventario por sku entre las diferentes tiendas de la compañía que permita la disminución de la cantidad de inventario que llega a liquidación y al mismo tiempo se pueda satisfacer la demanda.

Alcance

El modelo matemático proporciona los movimientos de inventario por cada sku entre las tiendas de la compañía para el departamento de Bisutería, que en inventario tiene un promedio de 100 SKUs y que cumplen con los tiempos de exhibición para ser trasladados. Además, los resultados del modelo serán confiables para meses de temporada baja y media en ventas.

II. MARCO TEÓRICO

Los inventarios son una parte fundamental de la cadena de suministro, debido a que representan el flujo comercial de las empresas, son el bien con el cual se llega a los consumidores y representan parte de la inversión de las compañías, de ahí la importancia de un seguimiento y control de los mismos para

mantener un movimiento constante que asegure altos niveles de rotación

La movilización del inventario genera gastos operativos tanto de personal como de transporte y los mismos se contraponen a la necesidad de generar ingresos de dinero a través de la venta del inventario, en este sentido los modelos de transporte resultan ser la herramienta que permiten determinar los movimientos donde se encuentra el equilibrio. En el transcurso de los siguientes párrafos se abordarán las definiciones para la correcta aplicación del modelo de transporte.

El problema del transporte

El propósito de este modelo es determinar un plan de transporte desde varias fuentes hasta varios destinos de forma que se logre satisfacer la demanda a un mínimo costo.

La red que se muestra en la Fig. 2 representa el problema. Existen m orígenes y n destinos, cada uno representado por un nodo. Los arcos representan las rutas que une los orígenes con los destinos. El arco (i, j) que une el origen i con el destino j contiene el costo del transporte por unidad c_{ij} y la cantidad transportada x_{ij} . La cantidad de la oferta en el origen i es a_i y la cantidad de la demanda en el destino j es b_j . El objetivo del modelo es minimizar el costo total del transporte al mismo tiempo que se satisfacen las restricciones de oferta y demanda. [2]

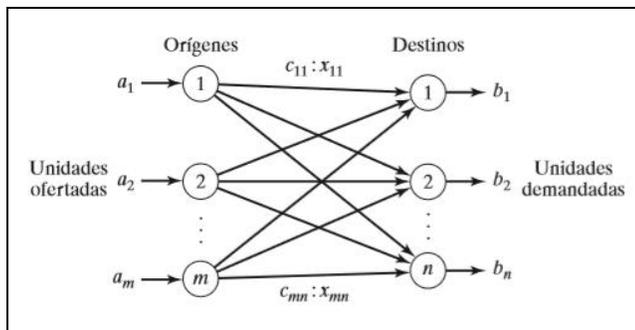


Fig. 2 Representación del modelo de transporte con nodos y arcos

El problema de transporte muestra solución siempre y cuando la cantidad ofertada por los orígenes es igual a la cantidad total demanda por los destinos, tal como se muestra a continuación:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1)$$

Esta condición forma parte de las restricciones del modelo cuya definición matemática queda de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i ; i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j ; j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq 0 ; \forall_{ij} \quad (5)$$

Cuando no se cumplen las restricciones del problema, se dice que el mismo está desbalanceado y esto puede darse en dos escenarios:

- Si la oferta total es mayor a la demanda total ($\sum a_i > \sum b_j$), para lo cual se debe agregar un destino ficticio b_{n+1} para balancear el problema, cuya demanda será igual a $(\sum a_i - \sum b_j)$ y cuyos costos unitarios son iguales a cero.
- Si la demanda total es mayor a la oferta total ($\sum b_j > \sum a_i$), para lo cual se debe agregar un origen ficticio a_{m+1} para balancear el problema, cuya oferta será igual a $(\sum b_j - \sum a_i)$ y cuyos costos unitarios son iguales a cero. [3] (Rosales Santamaría, 2018)

El problema del transporte representa al más sencillo de los problemas de distribución, sin embargo, la complejidad en los procesos de distribución ha demandado el desarrollo de variaciones al modelo básico de transporte, un ejemplo es el problema de transbordo.

El problema de transbordo

El problema del transbordo es una variación del problema de transporte que difiere del mismo por tener nodos intermedios o transitorios adicionales a los de origen y destino, este problema tiene una mayor aplicación en empresas que cuentan con fábricas, centros de almacenamiento y puntos de ventas.

La Fig. 3 muestra la representación del modelo para cuatro orígenes, tres nodos intermedios y nueve destinos aplicados a este problema, la definición formal de este caso se detalla en la siguiente sección.

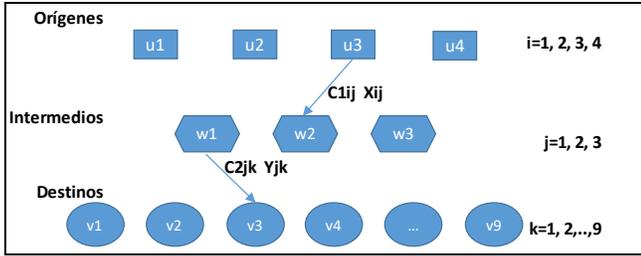


Fig. 3 Representación del modelo de transbordo

III. DESARROLLO

El modelo de transbordo aplicado a este ejercicio se define a continuación:

Variables de decisión:

X_{ij} : Cantidad a enviar desde el nodo origen u_i hasta el nodo intermedio w_j

Y_{jk} : Cantidad a enviar desde el nodo intermedio w_j hasta el nodo destino v_k

Costos asociados:

$C1_{ij}$: Costo de enviar una unidad desde el nodo origen u_i hasta el nodo intermedio w_j

$C2_{jk}$: Costo de enviar una unidad desde el nodo intermedio w_j hasta el nodo destino v_k

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 C1_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^9 C2_{jk} Y_{jk} \quad (6)$$

Sujeto a:

Restricción de oferta. - Todo lo que sale de cada nodo de origen debe ser menor o igual a la oferta del mismo.

$$\sum_{j=1}^3 X_{ij} \leq u_i ; i = 1, \dots, 4 \quad (7)$$

Restricción de capacidad. - Todo lo que llega a cada nodo intermedio debe ser menor o igual a su capacidad.

$$\sum_{i=1}^4 X_{ij} \leq w_j ; j = 1, \dots, 3 \quad (8)$$

Restricción de demanda. - Todo lo que llega cada nodo destino debe ser igual a su demanda.

$$\sum_{j=1}^3 Y_{jk} = v_k ; k = 1, \dots, 9 \quad (9)$$

Restricción de equilibrio del flujo. - Todo lo que entró a cada nodo intermedio debe ser mayor o igual a todo lo que salió del mismo.

$$\sum_{i=1}^4 X_{ij} \geq \sum_{k=1}^9 Y_{jk} ; j = 1, \dots, 3 \quad (10)$$

Restricción de no negatividad. - No se movilizan valores negativos entre los nodos.

$$X_{ij} \geq 0, Y_{jk} \geq 0 ; \forall_{ijk} \quad (11)$$

Modelo Multiproducto

En las secciones anteriores se ha abordado el problema de planificar el transporte de un producto a través de un sistema comprendido por nodos de origen, intermedios y de destino, sin embargo, en la realidad la planificación del transporte casi siempre involucra más de un producto. [4]

En esta sección se presentará la definición del modelo que resuelve este problema y se tomará como referencia el caso planteado en la Fig. 3 de la sección anterior, pero se considerará la distribución de dos productos, para lo cual se propone el modelo de la siguiente forma:

Índices:

i : nodos de origen; $i = 1, \dots, 4$

j : nodos intermedios; $j = 1, \dots, 3$

k : nodos destinos; $k = 1, \dots, 9$

p : productos; $p = 1, 2$

Variables de decisión:

X_{ij} : Cantidad a enviar desde el nodo origen u_i hasta el nodo intermedio w_j

Y_{jk} : Cantidad a enviar desde el nodo intermedio w_j hasta el nodo destino v_k

Costos asociados:

$C1_{ij}$: Costo de enviar una unidad desde el nodo origen u_i hasta el nodo intermedio w_j

$C2_{jk}$: Costo de enviar una unidad desde el nodo intermedio w_j hasta el nodo destino v_k

Otros datos:

$INVW_{jp}$: Disponibilidad del producto p en el nodo intermedio w_j

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{p=1}^2 C1_{ij} X_{ijp} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^9 \sum_{p=1}^2 C2_{jk} Y_{jkp} \quad (12)$$

Sujeto a:

Restricción de oferta. - Todo lo que sale de cada nodo de origen del producto p debe ser menor o igual a la oferta del mismo.

$$\sum_{j=1}^3 X_{ijp} \leq u_{ip}; i = 1, \dots, 4; p = 1, 2 \quad (13)$$

Restricción de capacidad. - Todo lo que llega a cada nodo intermedio debe ser menor o igual a su capacidad.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{p=1}^2 X_{ijp} \leq w_j; j = 1, \dots, 3 \quad (14)$$

Restricción de equilibrio del flujo. - Todo lo que entró a cada nodo intermedio del producto p debe ser mayor o igual a todo lo que salió del mismo.

$$\sum_{i=1}^4 X_{ijp} + INVW_{jp} \geq \sum_{k=1}^9 Y_{jkp}; j = 1, \dots, 3; p = 1, 2 \quad (15)$$

Restricción de demanda. - Todo lo que llega cada nodo destino debe ser igual a su demanda.

$$\sum_{j=1}^3 Y_{jkp} = v_{kp}; k = 1, \dots, 9; p = 1, 2 \quad (16)$$

Restricción de no negatividad. - No se movilizan valores negativos entre los nodos.

$$X_{ijp} \geq 0, Y_{jkp} \geq 0; \forall i, j, k, p \quad (17)$$

Se agregan otras variables al modelo relacionadas con el costo operativo, costo de transporte, precio de venta, inventario, espacio, entre otros. Los datos fueron tomados en el campo y posteriormente utilizados para ingresarlas al modelo.

Definición del modelo de programación matemática requerido

Como se describe en la Fig. 3 la mayoría de los movimientos de mercadería pasan por el Centro de Distribución (CD), por lo que parecería que el modelo se ajusta a un modelo de transbordo, sin embargo, al no existir varios centros de distribución, el modelo no debe decidir en cual CD es mejor consolidar la mercadería por lo que resulta igual utilizar un modelo de transporte o un modelo de transbordo con un solo nodo intermedio. Considerando que los traslados entre las tiendas de Quito no pasan por el CD y estos movimientos también deben considerarse en un solo modelo con el resto de los traslados, se decide trabajar con un modelo de transporte multiproducto.

A continuación, se detalla la estructura del modelo:

Índices:

i : Tiendas origen; $i = 1, \dots, 16$

j : Tiendas destino; $j = 1, \dots, 15$

k : sku; $k = 1, \dots, 100$

l : clasificación; $l = 1, 5$

Costos asociados:

CO_i : Costo operativo por unidad trasladada desde la tienda i .

CostosTrans $_{ij}$: Costo de transporte por m^3 desde la tienda i a la tienda j . Se lo define por m^3 porque el valor del pago al transportista depende del volumen ocupado en el camión.

PV $_{t_{ki}}$: Precio de venta por unidad del sku k procedente de la tienda i .

CostoSKU $_{ki}$: Costo de adquisición por unidad del sku k procedente de la tienda i .

Otros datos:

InvDisp $_{ki}$: Unidades de inventario disponibles para trasladar del sku k en la tienda i .

Dem $_{kj}$: Unidades de inventario demandadas del sku k en la tienda j .

Corres $_{lk}$: Indica a que clasificación l corresponde el sku k .

CuposComp $_{li}$: Necesidad de inventario valorado al precio de venta de la clasificación l en la tienda i .

Fact: Factor de tolerancia a la necesidad del inventario.

CapCD: Volumen del espacio destinado para recepción.

VolxUN: Volumen por unidad de inventario en metros cúbicos.

Variables de decisión:

X_{ijk} : Unidades a enviar del sku k desde la tienda origen i hasta la tienda destino j.

Otras Variables:

E_{ii} : Cantidad total de inventario (valorado al precio de venta) que es enviado desde la tienda i y corresponde a la clasificación l.

R_{ij} : Cantidad total de inventario (valorado al precio de venta) que es recibido por la tienda j y corresponde a la clasificación l.

Función Objetivo:

Maximizar la rentabilidad generada por los traslados entre tiendas, para esto, el modelo debe buscar trasladar a los artículos con los precios más altos que a su vez tengan los costos más bajos e identificar los movimientos que resulten más económicos de transportar.

(18)

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{100} X_{ijk} \times PVta_{ki} - \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{100} X_{ijk} \times \text{CostoSKU}_{ki} \\ & - \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{100} X_{ijk} \times \text{CostosTransp}_{ij} \times VolxUn \\ & - \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{100} X_{ijk} \times CO_i \end{aligned}$$

Sujeto a:

Restricción de oferta. – Todo lo que sale del sku k en la tienda origen i debe ser menor o igual al inventario disponible.

$$\sum_{j=1}^{15} X_{ijk} \leq InvDisp_{ki}; i = 1, \dots, 16; k = 1, \dots, 100 \quad (19)$$

Restricción de Demanda. – Todo lo que se recibe del sku k en la tienda destino j debe ser igual a su demanda.

$$\sum_{i=1}^{16} X_{ijk} = Dem_{kj}; j = 1, \dots, 15; k = 1, \dots, 100 \quad (20)$$

Restricciones de capacidad. –

El total del volumen que llega al Centro de Distribución debe ser menor o igual a su capacidad:

$$\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{100} X_{ijk} \times VolxUn \leq CapCD \quad (22)$$

Los cupos de compra resultantes no pueden exceder el factor de tolerancia aplicado al cupo de compra original:

- Se determinan los envíos (E_{ii}) y recepciones (R_{ij}) de cada tienda origen y destino por clasificación valorados al precio de venta.

$$E_{ii} = \sum_{Corres(i,k)} \sum_j X_{ijk} \times PVta_{ki}; l = 1, \dots, 5; i = 1, \dots, 15 \quad (23)$$

$$R_{ij} = \sum_{Corres(i,k)} \sum_i X_{ijk} \times PVta_{ki}; l = 1, \dots, 5; j = 1, \dots, 15 \quad (24)$$

Se utilizan dos restricciones, una para validar los cupos positivos (necesidad de inventario) y otra para validar los cupos negativos (exceso de inventario), en la parte izquierda de ambas restricciones se detalla el cupo de compra resultante con los movimientos de inventario mientras que en la parte derecha se especifica hasta qué punto se podría afectar el cupo de compra original, que no debe superar el factor de tolerancia definido en 1.3 por la compañía.

$$CuposComp_{ii} + E_{ii} - R_{ij} \leq CuposComp_{ii} \times Fact; \quad (25)$$

$$CuposComp_{ii} \geq 0; \quad l = 1, \dots, 5; Fact = 1.3; \forall i = j \quad (26)$$

$$CuposComp_{ii} + E_{ii} - R_{ij} \geq CuposComp_{ii} \times Fact; \quad (27)$$

$$CuposComp_{ii} \leq 0; \quad l = 1, \dots, 5; Fact = 1.3; \forall i = j \quad (28)$$

Restricción de no negatividad. – No se movilizan valores negativos entre las tiendas.

$$X_{ijk} \geq 0; \quad \forall_{ijk} \quad (29)$$

IV. RESULTADOS

Características de los datos utilizados

En el modelo se utilizaron 100 SKUs, de los cuales el 88% si presentaban inventario disponible para atender al menos el 50% de la demanda requerida, el 6% disponían de inventario, pero no tenían demanda y solo el 1% no contaban con inventario para cubrir la demanda.

TABLA I
DESCRIPCIÓN DE LOS SKUS - INVENTARIO Y DEMANDA

Características	Cantidad de SKUs
Existe Demanda pero NO Inventario disponible	1
Existe Inventario pero NO Demanda	6
Menos del 50% de la demanda podría ser cubierta	4
Mas del 50% de la demanda podría ser cubierta	15
El 100% de la demanda podría ser cubierta	73
No hay Demanda Ni Inventario	1
Total	100

El departamento requiere que se trasladen entre tiendas 1107 unidades que valorados al precio de venta representan \$8,550 y para lo cual se dispone de un inventario de 2136 unidades que representan \$16,029 al precio de venta, inicialmente esto indica que si se podría cubrir la totalidad de la demanda, ya que la misma representa alrededor del 50% del inventario disponible, sin embargo, después de ejecutar el modelo con las restricciones del problema se revisará cuanto realmente solo logra cubrir.

Entre las clasificaciones con mayor demanda de unidades se tiene a Aretes Clásicos con el 41% de la demanda en unidades, seguido por Juegos de Collar con el 26%, si se observa la demanda al precio de venta las dos clasificaciones tienen una participación similar en cuanto a la demanda, 37% y 35% respectivamente, esto es, porque el precio de venta es más alto en Juegos de Collar.

TABLA II
DEMANDA E INVENTARIO DISPONIBLE POR CLASIFICACIÓN

Clasificación	Demanda UN	Inv. Disp UN	Demanda USD	Inv. Disp USD
760B5CLO0-ARETES CLASICOS	452	829	\$3,145	\$5,397
760B5MO00-ARETES MODA	137	362	\$1,116	\$2,636
760B6JU00-MISCELANEOS JUNIOR	46	51	\$287	\$305
760B6MO00-MISCELANEOS MODA	179	284	\$970	\$1,461
760B70000-JUEGOS COLLAR/ARETES	293	610	\$3,032	\$6,231
Total	1107	2136	\$8,550	\$16,029

En la Fig. 4 se puede observar la demanda en unidades por cada una de las tiendas, entre ellas, las que demandan más de 100 unidades son T004, T032, T003 y T006.

Además, en la Fig. 5 muestra la disponibilidad de inventario en unidades por tienda y se puede observar que casi todas las tiendas tienen más de 100 unidades de inventario disponible para trasladar a otras tiendas.



Fig. 4 Demanda en unidades por tienda



Fig. 5 Inventario disponible en unidades por tienda

Debido a que la oferta es mayor a la demanda, el modelo fue equilibrado colocando la diferencia en un nodo ficticio.

Resultados del modelo

Luego de aplicar el modelo a los datos anteriormente descritos el mismo se ejecutó de forma óptima, resultando el valor de la función objetivo en \$4,803.36 que representa la máxima rentabilidad que se generaría por la venta de los SKUs que se trasladen a las tiendas que los demandan.

Al desglosar la función objetivo, se puede observar en la tabla III que su resultado depende mayormente de la venta y que tanto los costos operativos como los de transporte no son altos para este tipo de producto, lo que permite obtener alta rentabilidad del 66% sobre el valor de la venta.

TABLA III
DETALLE DE LOS VALORES DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

CONCEPTO	VALOR
Venta	\$7,268.53
Costo del SKU	\$2,439.23
Costos Operativos	\$19.24
Costos Transporte	\$6.70
Total	\$4,803.36

La restricción de oferta consiste en que las unidades enviadas deben ser menor o igual al inventario disponible y se cumple para todos los casos, tanto por sku como a nivel de tienda (Ver tabla IV).

La restricción de la demanda se logra cumplir gracias a la tienda ficticia, cuyo inventario ficticio suple las demandas que no pueden ser cubiertas por otras tiendas, esta restricción consiste en que todo lo que recibe la tienda debe ser igual a su demanda (Ver tabla V).

TABLA IV
RESULTADO DE LA RESTRICCIÓN DE OFERTA POR TIENDA

TIENDA	UN ENVIADAS	INV DISPONIBLE
T001	86	< 152
T003	59	< 152
T004	87	< 171
T006	57	< 153
T014	68	< 126
T019	69	< 139
T026	75	< 136
T032	145	< 201
T035	74	< 159
T038	38	< 92
T040	74	< 159
T041	70	< 151
T043	52	< 187
T047	0	<
T080	8	< 13
TFIC	145	< 145
Total	1107	< 2136

TABLA V
RESULTADO DE LA RESTRICCIÓN DE DEMANDA POR TIENDA

TIENDA	UN RECIBIDAS	DEMANDA
T001	72	= 72
T003	131	= 131
T004	172	= 172
T006	110	= 110
T014	76	= 76
T019	43	= 43
T026	47	= 47
T032	164	= 164
T035	79	= 79
T038	41	= 41
T040	69	= 69
T041	42	= 42
T043	58	= 58
T047		=
T080	3	= 3
Total	1107	= 1107

El resumen de los traslados para cada tienda se describe en la tabla VI.

TABLA VI
RESUMEN DE TRASLADOS DE TIENDAS

TIENDAS ORIGEN	TIENDAS DESTINO														Total Envios			
	T001	T003	T004	T006	T014	T019	T026	T032	T035	T038	T040	T041	T043	T047		T080		
T001		7	29	6	3			17	10				1	12		1	86	
T003	7		8		11	1		25	5			1		1			59	
T004	12	5		6	19		2	28	7			3	1	4			87	
T006	1	2	5			3	9	6	2	3	21	5					87	
T014		12	22	2				12	6				13			1	68	
T019		6		11			5	13	1	16	16					1	69	
T026		8	2	25	1	13		12	1	6	6			1			75	
T032	19	30	47	2	11					21	1	3	2	9			145	
T035	12	4	13	15	4	3	6	10		2	2	2	1				74	
T038		3	4	19				2	1		9						38	
T040		2	12	2	5	4	14	9	2	1		23					74	
T041		10	4	15	6	9	5	10	4	7							70	
T043	3	8	14	4	5	1		6	6				5				52	
T047																		
T080	1	1	4				1							1			8	
TFIC	17	33	8	3	11	9	5	14	13	5	8	3	16				145	
Total Recepciones	72	131	172	110	76	43	47	164	79	41	69	42	58	3			1107	

Después de quitar la tienda ficticia la cobertura de la demanda es del 87% en unidades y del 85% al precio de venta, la mayoría de las tiendas presentan una cobertura por encima del 80%. Las únicas tiendas que quedan por debajo de este porcentaje son T043, T001 y T003.

La realización de estos traslados de inventario entre tiendas generaría una venta adicional de \$ 7,269 para el departamento y una rentabilidad de \$4,803.36 después de deducir costos incurridos en la operación.

Debido a que la política de la compañía para traslados de mercadería establece que el mínimo de inventario a moverse entre tiendas es de 15 unidades, se deben seleccionar los traslados que cumplen con esta condición. Es necesario aclarar que esta condición no se agregó como restricción en el modelo debido a que contradecía la restricción de demanda, al impedir el envío de inventario a tiendas que demandaban menos de 15 unidades.

Aplicando la política de traslados, la cobertura de la demanda del departamento de Bisutería queda en un 37%. Además, se alcanzaría una rentabilidad de \$2,041, tal como lo muestra la Tabla VII, este valor disminuye un 57% en relación a la rentabilidad que se generaría sin la aplicación de la política (\$4,803 – Tabla III).

TABLA VII.
RESULTADO DE LA FUNCIÓN OBJETIVO CON POLÍTICA DE TRASLADOS

CONCEPTO	VALOR
Venta	\$3,048.74
Costo del SKU	\$998.74
Costos Operativos	\$8.14
Costos Transporte	\$0.66
Total	\$2,041.20

Comparativo con situación actual

Al comparar los resultados del método actual con los resultados proporcionados por el modelo de optimización, la mejora es significativa en la cobertura de la demanda que proporciona el modelo de optimización. Como se puede observar en la Tabla VIII, mientras el método actual ofrece una cobertura de la demanda del 21%, el modelo de optimización alcanza el 37% de cobertura.

TABLA VIII
COMPARATIVO DE COBERTURA DE DEMANDA

TIENDA	DEMANDA	DEMANDA CUBIERTA METODO ACTUAL	%COBERTURA METODO ACTUAL	DEMANDA CUBIERTA MODELO DE OPTIMIZACIÓN	% COBERTURA CON MODELO DE OPTIMIZACIÓN
T001	72	0	0%	19	26%
T003	131	15	11%	30	23%
T004	172	103	60%	98	57%
T006	110	33	30%	74	67%
T014	76	0	0%	19	25%
T019	43	0	0%	0	0%
T026	47	0	0%	0	0%
T032	164	76	46%	70	43%
T035	79	0	0%	21	27%
T038	41	0	0%	16	39%
T040	69	0	0%	37	54%
T041	42	0	0%	23	55%
T043	58	0	0%	0	0%
T047	0	0	0%	0	0%
T080	3	0	0%	0	0%
Total	1107	227	21%	407	37%

La tabla IX refleja las diferencias en cuanto a la rentabilidad obtenida por los dos métodos, lo primero que resalta es la optimización que se da en los costos de transporte que logran reducirse en un 86%, la venta se logra duplicar por una mejor cobertura de la demanda, lo que da como resultado una mejora del 119% en la rentabilidad obtenida por el modelo de optimización.

TABLA IX
COMPARATIVO DE RENTABILIDAD – MÉTODO ACTUAL VS. MODELO DE OPTIMIZACIÓN

CONCEPTO	MÉTODO ACTUAL	MODELO DE OPTIMIZACIÓN	VARIACIÓN
Venta	\$ 1,411.20	\$3,048.74	116%
Costo del SKU	\$ 471.15	\$998.74	112%
Costos Operativos	\$ 4.54	\$8.14	79%
Costos Transporte	\$ 4.72	\$0.66	-86%
Rentabilidad	\$ 930.79	\$2,041.20	119%

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, el modelo de optimización que se ha desarrollado demuestra ser la mejor opción para la determinación de los traslados de mercadería al lograr la combinación ideal entre los artículos con los mejores precios de venta y la relación de tiendas que generan los menores costos de transporte, lo que ha permitido reducir en un 86% el costo del transporte en relación a la forma actual y alcanzar una mejor cobertura de la demanda, dando lugar a un incremento del 119% en rentabilidad respecto al método actual.

A partir del levantamiento de información realizada al área de transporte, en cuanto a costos fijos y variables del mantenimiento de la flota interna, rutas y distancias que se recorren entre tiendas y costos del uso de la flota externa, se pudo determinar que es más costoso mover inventario entre tiendas que pertenecen a distintas ciudades a diferencia de aquellas que pertenecen a una misma ciudad.

El modelo matemático determina los movimientos de inventario entre tiendas por sku para alcanzar la máxima la rentabilidad de los mismos, y cumpliendo las políticas de inventario de la compañía.

Luego de ejecutar el modelo matemático en GAMS fueron generadas 24,000 variables resultado de las posibles combinaciones entre los 100 SKUs, las 16 tiendas origen y las 15 tiendas destino; y logra encontrar una solución óptima al problema en un tiempo no mayor a dos minutos.

REFERENCES

- [1] J. Coronel, "Desarrollo de una política de inventario para una empresa importadora y distribuidora de insumos médicos utilizando modelos matemáticos de aprovisionamiento", 2015. Available in <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32354>
- [2] H. Taha, *Investigación de Operaciones* (Novena ed.). Pearson, 2012
- [3] M. Rosales Santamaría, "Aplicación del Algoritmo de Transporte para minimizar costos de traslado de Coalín en Insumex S.A". Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018.
- [4] E. Parra Iglesias, E. *Optimización del Transporte*, Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A, 1999
- [5] F. Hillier, F., & G. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones* (Novena ed.), The McGraw Hill Companies, 2010
- [6] A.M. Martínez Barreiro, "Un modelo de empresa innovadora y flexible: el caso Zara". *RIPS. Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380/38060105>, 2007.
- [7] A. Ramos, *Instituto de Investigación Tecnológica*. Obtenido de https://www.iit.comillas.edu/aramos/simio/transpa/t_mip_ar.pdf, 2017
- [8] B. Salazar Lopez, *INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE.COM*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-de-transbordo>, 2016