



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

revistaing@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada

Colombia

Kalenatic, Dusko; López Bello, Cesar Amilcar; González Rodríguez, Leonardo José; Rueda Velasco, Feizar Javier

Localización de una plataforma de cross docking en el contexto de logística focalizada utilizando distancias euclidianas

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 18, núm. 1, junio, 2008, pp. 17-34

Universidad Militar Nueva Granada

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91118102>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

LOCALIZACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE CROSS DOCKING EN EL CONTEXTO DE LOGÍSTICA FOCALIZADA UTILIZANDO DISTANCIAS EUCLIDIANAS

LOCATION PLATFORM OF CROSS-COUNTRY RACE DOCKING IN THE CONTEXT OF LOGISTICS FOCALIZADA USING EUCLIDEAN DISTANCES

Dusko, Kalenatic.

Economista, Ph.D., Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Investigador del Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Universidad de la Sabana, Bogotá, Colombia. kalenatic@unisabana.edu.co

Cesar Amilcar, López Bello

Ing. Industrial, Ph.D., Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Investigador del Grupo MMAI de la Universidad Distrital. Investigador del Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Universidad de la Sabana. Investigador, Grupo de Investigación en Producción "GIP", Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. clopezb@udistrital.edu.co

Leonardo José, González Rodríguez

Ing. Industrial, M.Sc., Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas. Investigador Grupo de Investigación en Producción "GIP" de la Universidad Católica de Colombia, Director Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Universidad de la Sabana. Bogotá, Colombia. lejogorod@yahoo.com

Feizar Javier, Rueda Velasco

Ing. Industrial, Profesor, Facultad de Ingeniería, Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Investigador Grupo de investigación en Producción "GIP", Universidad Católica de Colombia, Investigador Grupo MMAI Universidad Distrital. Bogotá, Colombia. fjrueda@ucatolica.edu.co, frueda@escuelaing.edu.co

Fecha de recepción: 30 de abril de 2008.

Fecha de aprobación: 16 de junio de 2008.

RESUMEN

El actual contexto de los escenarios globales de defensa ha impulsado el desarrollo de conceptos como el de logística focalizada, creado para brindar soporte logístico en ambientes de alta volatilidad e incertidumbre. Dentro de ese marco la logística focalizada requiere de herramientas que permitan agilizar los procesos de toma de decisiones en

donde la modelación matemática es útil como herramienta de soporte. En orden a lo anterior, se presenta un modelo que pretende soportar la decisión de localización de una plataforma de cross-docking y asignación de medios de transporte utilizando distancias euclidianas de tal manera que se permita garantizar una distribución ágil desde orígenes de suministro hasta los orígenes de demanda siendo especialmente novedosa la estrategia de solución del mismo

Palabras clave: logística focalizada, instrumentos de apoyo a decisiones, posición, sistemas de distribución.

ABSTRACT

The current context of global defence scenarios has enhanced development of new concepts like focused logistics concept. Focused logistics is a concept created to support logistics operations in uncertainty environments. In this framework focused logistics needs tools to enable an agile, reliable and accurate decision processes. In order of these requirements, this paper shows a mathematical model to find a good location of a cross-docking facility and allocate workloads of different kinds of vehicles from suppliers to demand centres using euclidian distances. This model is presented as a support tool in tactical operations being especially innovative to the strategy used for the solution of the model.

Key words: focused logistics, cross-docking, decisions support tools, location, distribution systems, euclidian distances.

INTRODUCCIÓN

La logística militar se ha definido cómo la ciencia que tiene como objetivo proporcionar a las fuerzas armadas los medios necesarios para la guerra a través del ciclo logístico [27] es decir, los medios de apoyo para el combate. Como parte de una de las cuatro categorías del pensamiento logístico contemporáneo, la logística militar ha sido clasificada de la categoría de Ingeniería y Modelación matemática [13], la cual combina los desarrollos más relevantes en ingeniería con las fortalezas del modelamiento matemático para atender las necesidades logísticas de las fuerzas armadas.

A través de la historia la logística militar ha desempeñado un rol decisivo en los escenarios de conflicto, evidenciado entre otros en las siguientes referencias [8], [9], [18], [22], [26]. Dicho papel significativo cobra hoy en día una mayor importancia dado el ambiente de cambio e incertidumbre en el cual se encuentran inmerso el panorama de la defensa.

El panorama de la defensa en el nuevo siglo ha sido modificado sustancialmente y esta caracterizado por las amenazas asimétricas, las significativas alteraciones políticas y

económicas y los rápidos cambios tecnológicos, en donde no es fácil prever el surgimiento de conflictos que, sin embargo, requieren de una respuesta contundente en cortos periodos de tiempo.

Este nuevo contexto generó la revolución de los temas militares y la reducción de las fuerzas de combate que exigen mayor conectividad entre el teatro de operaciones y las fuentes de suministro que deben asegurar el soporte físico e informativo de las unidades implicada en las misiones.

Producto de esta revolución surge el concepto de logística focalizada, planteado como la integración de las tecnologías de la información y telecomunicaciones y tecnologías logísticas para proveer rápida respuesta a las necesidades de las fuerzas armadas [25].

Para que el concepto de logística focalizada sea operativo se requiere la utilización de herramientas que soporten el proceso de toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre, bajo este requerimiento, este artículo plantea un modelo que permita tomar una decisión táctica de localización de una plataforma de cross-docking y adicionalmente realizar una asignación adecuada de los medios de transporte disponibles dentro del contexto de logística focalizada.

El artículo, en primer lugar, presenta un marco contextual donde se describe el concepto de logística focalizada, se resalta la relevancia que tiene dentro de las herramientas de apoyo a las decisiones y se destaca la localización de plataformas de cross-docking como una decisión que requiere del desarrollo de herramientas de soporte. Posteriormente se presenta el modelo matemático planteado para el problema de localización. En tercer lugar, y debido a la complejidad algorítmica del modelo inicial, se genera una estrategia de solución por etapas, la cual consiste en primera instancia en tomar la decisión de localización de la plataforma de cross-docking, para posteriormente asignar los medios de transporte y efectuar la programación de los viajes que deben realizar los vehículos.

Por último se presenta una metodología para la aplicación del modelo y se dan algunas conclusiones donde se enmarcan los alcances, futuros desarrollos asociados a la ampliación de dicho alcance y finalmente perspectivas de aplicación de los conceptos de logística focalizada en sectores diferentes al de la defensa.

1. MARCO CONTEXTUAL

En el pasado los ejércitos de las potencias estaban diseñados para enfrentar las fuerzas armadas de otras potencias, sin embargo, después de la guerra fría el escenario global se ha caracterizado por cambios geopolíticos, económicos, tecnológicos, que no solo

son significativamente diferentes respecto a los escenarios previos a la guerra fría, sino que además se presentan a un ritmo acelerado. Adicionalmente las amenazas asimétricas impiden una clara visibilidad del surgimiento de adversarios y conflictos que requieren rápidas respuestas y una manera diferente de actuar.

Este nuevo contexto global ha impulsado a generar una transformación profunda en la manera de entender la defensa por parte de las potencias, y como parte de la defensa de manera inseparable, una transformación en el soporte logístico.

Dicha transformación es planteada a través del concepto de logística focalizada que a su vez es parte integrada dentro de los 6 conceptos operacionales de transformación militar plasmados en el Departamento de Defensa [6].

La logística Focalizada se describe como la habilidad de proveer a las fuerzas armadas con el adecuado personal, equipamiento y provisiones en el lugar adecuado, en el momento adecuado, en la cantidad adecuada en todo el espectro de las operaciones militares a través de un sistema de información en tiempo real y basado en redes, que provee una visibilidad total de los recursos vinculando efectivamente al personal operativo y logístico en todos los servicios y agencias de apoyo, a través de innovaciones que transformen a las organizaciones y los procesos, es decir, con apoyo para todas las funciones [10].

Este concepto especialmente innovador en el uso intensivo de los sistemas de información en tiempo real como herramienta para la toma de decisiones en todos los niveles.

La implementación de los conceptos de logística focalizada traer consigo, los siguientes beneficios [23]:

- Rápido despliegue y soporte a los destinatarios especificados.
- Tamaño apropiado del soporte logístico
- Reducción de los costos logísticos sin afectar las capacidades operativas
- Una estructura del soporte logístico más ágil y reactiva que pueda ser soportada desde bases y/o facilidades distantes.
- Información más precisa, exacta y oportuna.
- Sistemas de información más confiables y fáciles de soportar.

Los anteriores beneficios propenderán hacia la generación de soporte exacto y oportuno a los destinatarios (el cual puede entenderse como el combatiente o el cliente en ambientes empresariales) en todo el espectro de operaciones.

Para que el soporte logístico “fin a fin” (en todo el espectro de operaciones) sea factible es necesario generar habilidades y capacidades logísticas que en conjunción con el uso intensivo de los sistemas de información permitan un proceso de toma de decisiones

eficiente, efectivo y de rápida respuesta [5], para ello se requieren algunos esfuerzos de transformación tales como [24]:

- Adoptar las mejores prácticas de negocios disponibles
- Moverse hacia un sistema logístico de arquitectura abierta que pueda proveer información logística integrada, útil y oportuna para los encargados de tomar las decisiones.
- Mejorar la respuesta logística al destinatario.

De los conceptos de transformación precedentes es necesario destacar la necesidad de contar con herramientas para la toma de decisiones, es ahí donde radica realmente la importancia de focalizar las transformaciones logísticas hacia la integración de sus procesos a través un sistema de información en tiempo real y basado en redes. De la misma manera el uso de las mejores prácticas de negocios permite complementar los conceptos de logística militar, ampliando el alcance y generando ventajas que propendan hacia el alcance de los objetivos.

La práctica del cross-docking ha sido ampliamente difundida en el ambiente logístico-empresarial, en ella el principio básico radica en recibir productos de uno o varios centros de producción o proveedores, consolidarlos y embarcarlos a los centros de consumo tan rápido como sea posible [30]. En ambientes de defensa que operen bajo conceptos de logística focalizada este tipo de práctica puede ser de utilidad ante la inminente necesidad de recibir innumerables clases de suministros provenientes de lugares generalmente distantes en el globo, consolidarlos en paquetes personalizados de acuerdo con las necesidades específicas de las unidades y finalmente distribuirlos oportunamente hacia las ubicaciones específicas dentro del teatro de operaciones de una manera oportuna.

La justificación del uso de la práctica de cross-docking dentro de ambientes militares, está asociada con el cumplimiento de los principios de logística militar [9] como lo son la flexibilidad, la dispersión y “timing”(precisión en tiempo y espacio), entre otros. Adicionalmente ofrece la ventaja de flexibilizar los sistemas de transporte y distribución [31].

Una vez justificado el empleo en ambientes de logística focalizada de la práctica de cross-docking, se mantiene el problema de decidir dónde localizar la plataforma. Para ello el presente artículo plantea un modelo de programación matemática que permita soportar esta decisión y de esta manera conectar ágilmente los orígenes del suministro (fabricantes, proveedores u otras plataformas) con los orígenes de la demanda y que además permita seleccionar los medios de transporte así como asignar sus cargas de trabajo.

2. MODELO MATEMÁTICO

De acuerdo con el marco contextual, se formula un modelo matemático que permite tomar la decisión de la localización de la plataforma de cross-docking teniendo en cuenta entre otros parámetros: la localización de los orígenes de la demanda; la localización de los orígenes de suministros (proveedores, fabricantes, otras plataformas, etc.), los medios de transporte y sus capacidades y los costos de transporte, de tal manera que se minimicen los costos de transporte y distribución.

Para ejemplificar el problema la Figura 1 muestra tres orígenes de suministro A, B y C que buscan entregar provisiones a los orígenes de la demanda Od_1, Od_2, \dots, Od_6 , realizando el cross-docking en la plataforma P1. Los orígenes de suministros, los orígenes de demanda, y la plataforma se representan a través de coordenadas cartesianas bidimensionales.

La decisión de la localización de la plataforma se toma con base en las distancias euclidianas desde los orígenes de suministro hacia la plataforma y desde los orígenes de la demanda hacia la misma, lo cual puede ser asimilado en escenarios de logística focalizada con transporte transnacional, en donde las rutas marítimas, aéreas y terrestres pueden ser aproximadas a líneas rectas.

Con base en este supuesto se resuelve el problema representando las distancias entre el origen de suministro y la plataforma así (1):

$$d_i = \sqrt{(A_i - X)^2 + (O_i - Y)^2} \quad (1)$$

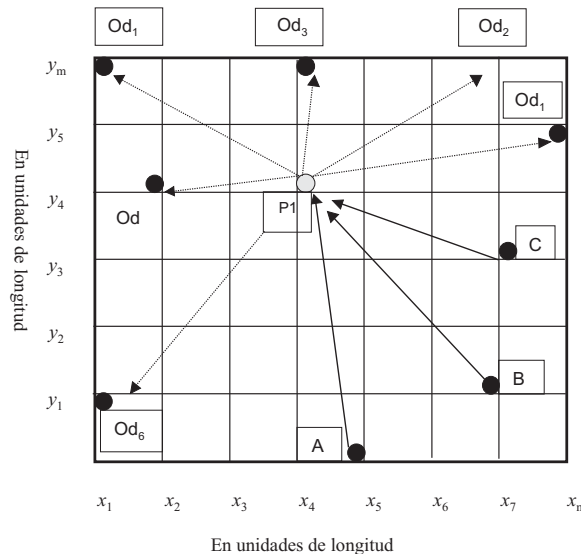


Figura 1. Esquema del problema de localización.

De manera análoga la distancia entre la plataforma de cross –docking y los orígenes de suministro se puede expresar cómo (2):

$$d'_j = \sqrt{(A'_j - X)^2 + (O'_j - Y)^2} \quad (2)$$

Donde A_i, A'_j, O_i y O'_j son las abscisas y las ordenadas de los orígenes de demanda y de suministro, respectivamente; X y Y son las coordenadas de la plataforma de cross-docking. Teniendo en cuenta lo anterior se definen las variables de decisión así:

2.1. VARIABLES DE DECISIÓN:

d_i : Distancia desde el origen de suministro “i”, hasta la plataforma de cross-docking donde $i = 1, 2, \dots, m$.

d'_j : Distancia desde de la plataforma de cross-docking hasta el origen de la demanda “j”, donde $j = 1, 2, \dots, n$ cuando la plataforma está a la izquierda del origen de la demanda

X : Abscisa de la plataforma de cross-docking

Y : Ordenada de la plataforma de cross-docking

$X_{i,k}$: Número de viajes a programar del origen de suministro “i” a la plataforma de cross-docking en el medio de transporte tipo “k”, donde $i = 1, 2, \dots, m \wedge k = 1, 2, \dots, l$

$Y_{j,k}$: Número de viajes a programar de la plataforma de cross-docking al origen de la demanda “j” en el medio de transporte tipo “k”, donde $j = 1, 2, \dots, n \wedge k = 1, 2, \dots, l$

$Z_{i,k}$: Cantidad a transportar del origen “i” a la plataforma de cross-docking en el medio de transporte “k”, donde $i = 1, 2, \dots, m \wedge k = 1, 2, \dots, l$

$W_{j,k}$: Cantidad a transportar de la plataforma de cross-docking al origen de la demanda “j” en el medio de transporte “k”, donde: $j = 1, 2, \dots, n \wedge k = 1, 2, \dots, l$

$C_{i,k}$: Costo unitario de transporte del origen de suministro tipo “i” hasta la plataforma de cross-docking en el medio de transporte tipo “k”:

$C'_{j,k}$: Costo unitario de transporte desde la plataforma de cross-docking hasta el origen de la demanda “j” en el medio de transporte tipo “k”

Una vez definidas las variables de decisión, se presentan los parámetros asociados del modelo a continuación:

2.2. PARÁMETROS:

Cd_i : Capacidad de oferta del origen de suministro “i”, donde $i = 1, 2, \dots, m$.

Dr_j : Demanda requerida en origen de la demanda “j”, donde $j = 1, 2, \dots, n$
 fr : Factor de retorno del medio de transporte vacío
 cud_k : Costo por unidad de distancia de un medio de transporte tipo “k”, donde $k = 1, 2, \dots, l$
 S_k : Costo de carga y descarga y de operación fija de un medio de transporte tipo “k”, donde $k = 1, 2, \dots, l$
 A_i : Abscisa del origen de suministro “i”, donde $i = 1, 2, \dots, m$
 O_i : Ordenada del origen de suministro “i”, donde $i = 1, 2, \dots, m$
 A'_j : Abscisa del origen de la demanda “j”, donde $j = 1, 2, \dots, n$
 O'_j : Ordenada del origen de la demanda “j”, donde $j = 1, 2, \dots, n$
 N_k : Número de vehículos disponibles del tipo “k”, donde $k = 1, 2, \dots, l$
 NW_k : Número de viajes permitidos por vehículo del tipo “k”, donde $k = 1, 2, \dots, l$
 CC_k : Capacidad de carga del medio de transporte tipo “k”, donde $k = 1, 2, \dots, l$

La obtención oportuna y exacta de los parámetros en ambientes de alta incertidumbre como los asociados a la logística focalizada depende en gran medida del concepto de fusión informacional [5] que comprende una red total fin a fin que permita obtener información en tiempo real acerca del despliegue, la distribución, el sostenimiento de los canales de distribución, la demanda y necesidades de las unidades operativas que a su vez puedan alimentar herramientas de soporte y tomar decisiones tales como la presentada en este modelo.

2.3. FUNCIÓN OBJETIVO

El modelo pretende buscar una alternativa de localización adecuada para la plataforma dado el conocimiento previo de la localización de los orígenes del suministro, orígenes de la demanda, costos asociados al transporte y la capacidad de los medios de transporte.

Con base en lo anterior el modelo tiene el objetivo de determinar la ubicación de una locación y la asignación de medios de transporte de tal manera que se minimicen los costos de transporte y la distribución en función de las coordenadas de la localización de la plataforma central, las distancias de los orígenes de suministro, la demanda hacia la misma, y el número de viajes realizado por medio de transporte, tal como se muestra en la ecuación (3).

$$F = f \left(X, Y, d_i, d'_j, X_{i,k}, Y_{j,k}, i = 1, 2, \dots, m, \right. \\ \left. j = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \wedge \quad k = 1, 2, \dots, l \right) \quad (3)$$

Dónde:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l C_{i,k} X_{i,k} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l C'_{j,k} Y_{j,k} \quad (4)$$

La función objetivo que se muestra en la ecuación (4) representa la minimización de los costos de transporte y distribución. La estimación de los costos está en función de las distancias, las cuales son variables de decisión, que al estar multiplicadas por las variables número de viajes, X_{ij} y Y_{jk} , hacen que el modelo se enmarque en un problema de programación no lineal mixta con variable enteras y reales, haciendo que el tratamiento algorítmico sea complejo.

2.4. RESTRICCIONES

El modelo presenta diferentes tipos de restricciones a saber: restricciones de oferta de los orígenes de suministro (5) y (6); restricciones de demanda (6), (7) y (8); y finalmente restricciones de localización (9), (10), (11) y (12).

$$\sum_{k=1}^l Z_{i,k} \leq Cd_i \quad \text{para cada } i=1,2,\dots,m \quad (5)$$

$$CC_k X_{i,k} \geq Z_{i,k} \quad \text{para cada } i=1,2,\dots,m \wedge k=1,2,\dots,l \quad (6)$$

La restricción (5) indica que la cantidad transportada desde cada origen de suministro debe ser menor o igual a la capacidad del mismo origen, esto garantiza que las cantidades transportadas desde los diferentes orígenes están disponibles para su consumo.

La restricción (6) indica que la capacidad total de los medios de transporte por el número de viajes realizados desde cada origen de suministro hacia la plataforma central debe ser al menos igual a la capacidad de los orígenes de suministro.

La restricción (7) garantiza que las cantidades transportadas de los orígenes de suministro hacia la plataforma sean suficientes con respecto a las transportadas desde la plataforma hasta los orígenes de la demanda. A su vez (8) asegura la capacidad de los medios de transporte para transportar desde los orígenes de los suministros hacia los orígenes de la demanda.

Por otra parte (9) implica el cumplimiento de la demanda en cada origen de la misma.

$$\sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n W_{j,k} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l Z_{i,k} \quad (7)$$

$$CC_k Y_{j,k} \geq W_{j,k} \\ \text{para cada } j=1,2,\dots,n \wedge k=1,2,\dots,l \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^l W_{j,k} \geq Dr_j \quad \text{para cada } j=1,2,\dots,n \quad (9)$$

Las restricciones (10) y (11), plantean el uso de distancias euclidianas cuyos modelos son muy comunes y se pueden consultar en: [15], [17], [19] y [32].

$$d_i = \sqrt{(A_i - X)^2 + (O_i - Y)^2} \quad (10)$$

$$d'_j = \sqrt{(A'_j - X)^2 + (O'_j - Y)^2} \quad (11)$$

Por último las restricciones lógicas están dadas por (12)

$$\begin{aligned} d_i, d'_j &\geq 0 \\ \text{para cada } i=1,2,\dots,m \wedge j=1,2,\dots,n & \\ X_{i,k}, Y_{j,k} &\geq 0 \text{ y enteras para cada } i=1,2,\dots,m \wedge j=1,2,\dots,n \wedge k=1,2,\dots,l \end{aligned} \quad (12)$$

3. ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN

En el apartado previo se hizo evidente la complejidad algorítmica del problema al ser un modelo de programación no lineal mixta con variables reales.

De ahí que la de solución del problema requiera una estrategia que permita reducir la dificultad. Para ello se hace uso de una estrategia de solución multietapas comúnmente utilizada en otras técnicas de programación matemática, que permite que la complejidad sea menor y por lo tanto la eficiencia algorítmica sea mayor.

La estrategia multietapas se refleja al subdividir el problema inicial en dos problemas de baja complejidad, como son: un problema de localización exclusivamente, y un problema de distribución y transporte, exclusivamente.

De acuerdo con lo anterior se plantea la solución del problema en dos fases: la primera tiene como objetivo determinar la ubicación de la plataforma central, de tal manera que los datos obtenidos se convierte en información paramétrica para alimentar la segunda fase, que a su vez tiene como objetivo seleccionar los medios de transporte y el número de viajes que deben realizar

3.1. PRIMERA FASE: MODELO DE LOCALIZACIÓN.

El modelo de localización presentado en el esquema (13) pretende obtener las coordenadas de la plataforma central que minimicen las distancias ponderadas entre los orígenes de suministro y los orígenes de la demanda.

$$\begin{array}{l}
 \text{Minimizar} \quad F = \sum_{i=1}^m C d_i (d_i) + \sum_{j=1}^n D r_j (d'_j) \\
 \text{Sujeto a:} \\
 \text{Restricciones de localización} \\
 d_i = \sqrt{(A_i - X)^2 + (O_i - Y)^2} \\
 d'_j = \sqrt{(A'_j - X)^2 + (O'_j - Y)^2} \\
 \text{Restricciones Lógicas} \\
 d_i, d'_j \geq 0 \quad \text{para cada } i = 1, 2, \dots, m \quad \wedge \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{array} \tag{13}$$

El problema presentado es un problema de programación lineal entera de baja complejidad que puede ser resuelto, entre otros, por el algoritmo de ramificación y acotamiento o por el algoritmo de plano de corte.

Algunas aplicaciones del algoritmo de ramificación y acotamiento a problemas de localización son presentadas por Basheer y Khumawala [1], Cordeau y otros [3] y Klose [14]. De igual manera trabajos relacionados con el algoritmo de plano de corte aplicado al problema de localización son presentados, entre otros, por: Elhedhli y otros [7], Muyldermans y otros [21], Ramos y otros [28].

Una vez conocidas las coordenadas de la plataforma de cross-docking es necesario resolver el problema asociado de selección de medios de transporte y número de viajes por tipo de medio, tal como se muestra en la segunda fase.

3.2. SEGUNDA FASE: SELECCIÓN DE MEDIOS DE TRANSPORTE

Una vez obtenidas las coordenadas x , y de la plataforma de cross-docking en la fase I se procede a resolver el problema de transporte asociado, para de esta manera poder asignar los flujos de carga a través de la red de distribución así como la asignación de los medios de transporte.

Para lograr dicho propósito y conociendo la ubicación de la plataforma y las distancias desde los orígenes de suministro a la plataforma central y de ella a los orígenes de la demanda, es posible entonces calcular los costos unitarios de transporte, es decir, los costos unitarios de transporte que eran variables de decisión en el modelo original, se convierten en parámetros para alimentar la segunda fase del problema, tal como se muestra en (14)

$$\begin{aligned}
C_{i,k} &= S_k + (1 + fr) cud_k(d_i) \quad \text{para cada } i = 1, 2, \dots, m \\
C'_{j,k} &= S_k + (1 + fr) cud_k(d'_j) \quad \text{para cada } j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \tag{14}$$

Una vez calculados los costos unitarios de transporte, se plantea el modelo que permite asignar los medios de transporte que se van a utilizar y el número de viajes que se van a realizar con base en una función objetivo que busca minimizar el costo de transporte, así (15):

$$\begin{aligned}
&\text{Minimizar} \quad F = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l C_{i,k} X_{i,k} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l C'_{j,k} Y_{j,k} \\
&\text{Sujeto a:} \\
&\text{Restricciones de oferta} \\
&\sum_{k=1}^l Z_{i,k} \leq Cd_i \quad \text{para cada } i = 1, 2, \dots, m \\
&CC_k X_{i,k} \geq Z_{i,k} \quad \text{para cada } i = 1, 2, \dots, m \wedge k = 1, 2, \dots, l \\
&\text{Restricciones de demanda} \\
&\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l W_{j,k} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l Z_{i,k} \\
&CC_k Y_{j,k} \geq W_{j,k} \quad \text{para cada } j = 1, 2, \dots, n \wedge k = 1, 2, \dots, l \\
&\sum_{k=1}^l W_{j,k} \geq Dr_j \quad \text{para cada } j = 1, 2, \dots, n \\
&\text{Restricciones de disponibilidad del medio de transporte} \\
&\sum_{i=1}^m X_{i,k} + \sum_{j=1}^n Y_{j,k} \leq (N_k)(NVV_k) \quad \text{para cada } k = 1, 2, \dots, l \\
&\text{Restricciones Lógicas} \\
&X_{i,k}, Y_{j,k} \geq 0 \text{ y enteras para cada } i = 1, 2, \dots, m \\
&\quad \quad \quad j = 1, 2, \dots, n \\
&\quad \quad \quad k = 1, 2, \dots, l \\
&X, Y \text{ son no restringidas} \\
&Z_{i,k}, W_{j,k} \text{ para cada } i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \wedge \\
&\quad \quad \quad k = 1, 2, \dots, l
\end{aligned} \tag{15}$$

Es de notar que la capacidad de los medios de transporte es lo suficientemente amplia para cubrir las necesidades a transportar, de lo contrario sería necesario evaluar la adquisición de nuevos equipos y medios de transporte adicionales que garanticen el flujo continuo sobre el sistema de distribución.

La solución a este modelo en conjunto con la de la primera fase trae consigo una solución apropiada para el modelo general, brindando una alternativa de localización de la

plataforma central priorizada por el flujo entre los orígenes de suministro y los orígenes de la demanda permitiendo de la misma forma seleccionar los medios de transporte y asignación de cargas a los mismos.

4. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN

Con el fin de ilustrar al lector acerca de la aplicación del modelo propuesto, los pasos a seguir para su implementación son:

4.1. CONSTRUIR LA RED DE DISTRIBUCIÓN

En este paso deben identificarse los nodos que constituyen la red, es decir, los orígenes de suministro y de demanda así como sus coordenadas geográficas. De la misma manera deben identificarse las relaciones de flujo de carga entre los nodos identificados.

4.2. PARAMETRIZAR

El concepto de logística focalizada planteado en el Departamento de Defensa [5], [6], Joint Chief of State [10] y Paulus [23], [24], declara como elemento indispensable la fusión de información que pretende a través de un sistema de información basado en redes tener conciencia total sobre la red logística. Dicha conciencia permite a través del sistema de información integrado, obtener los datos de entrada para la utilización de herramientas de soporte a las decisiones, tales como el modelo propuesto en el presente escrito.

De acuerdo con lo anterior durante la parametrización se deben obtener ágilmente las capacidades de oferta de los orígenes de suministro así como la demanda en los destinos. De igual manera deben identificarse los tipos, número y capacidad de los vehículos disponibles y su número de viajes permitidos. Por otra parte se deben incluir los costos por unidad de distancia de cada tipo de medio de transporte así como el costo fijo asociado a su preparación y el factor de retorno del medio vacío.

En general con base en la ventaja de acceso a la información que permite la aplicación de los conceptos de logística focalizada, deben obtenerse la totalidad de los parámetros presentados en el numeral 2.2

4.3. PRIMERA FASE DE SOLUCIÓN

Una vez obtenidos los parámetros se deben obtener las coordenadas de la plataforma de cross-docking resolviendo el problema de localización presentado en 3.1.

4.4. SEGUNDA FASE DE SOLUCIÓN

En la segunda fase de solución se utilizan las coordenadas de la plataforma central obtenidas en la primera fase como parámetro. Con base en esas coordenadas se calculan los costos unitarios de transporte usando las expresiones planteadas en 14 y a continuación usar ese resultado como parámetro de entrada en el modelo de transporte asociado y planteado en (15). La solución óptima del modelo dará como resultado la asignación de flujos de carga entre los orígenes de suministro y los orígenes de la demanda centralizados a través de la plataforma de cross-docking., también se obtendrán las cargas de trabajo asignadas a cada tipo de vehículo.

5. CONCLUSIONES

El concepto de logística focalizada surge como respuesta al actual contexto de los escenarios de conflicto, sujetos a altas dosis de incertidumbre, lo cual conlleva a que se pueda brindar un soporte logístico basado en un sistema de información en tiempo real y basado en redes.

Dicho sistema de información debe incluir herramientas que permitan asesorar el proceso de toma de decisiones tanto a nivel estratégico, operacional o táctico.

Se destacó la importancia del uso de plataformas de cross-docking como una práctica que además de reducir costos logísticos permite conectar orígenes de suministro con áreas de operaciones de una manera precisa, dispersa, flexible y oportuna.

En respuesta a lo anterior se presentó un modelo matemático que permite encontrar una alternativa de localización de una plataforma de cross-docking y adicionalmente la selección de medios de transporte y su asignación de cargas.

El modelo presentado interpreta el problema de la localización de la plataforma a través de distancias euclidianas apropiadas para rutas de transporte que pueden ser aproximadas a lineales, tales como las rutas aéreas, marítimas, férreas y algunas de transporte terrestre. Sin embargo el uso de distancias rectilíneas no sería apropiado para casos como el de transporte urbano o en rutas cuya trayectoria lineal pueda ser obstaculizada o no ser segura, caso para el cual puede usarse el concepto de distancias rectilíneas como concepto de programación meta mostradas, entre otros por los autores de las siguientes referencias [2],[4],[12],[16],[20] y [29].

El modelo involucra complejidad en su solución, la cual se incrementará en la medida que se aumenten el número de orígenes de suministro y de demanda, además de involucra restricciones de limitaciones de ubicación que implican el uso de variables de carácter binario para resolver restricciones disyuntivas.

Por ende se optó por una estrategia multietapa que permitiera dividir el problema en dos fases de baja complejidad. La primera, un modelo de localización basado en distancias rectilíneas que permite encontrar las coordenadas de la plataforma central bajo un criterio de minimización de distancias ponderadas, lo que posibilita ubicar la plataforma que favorezca los flujos de suministro más grandes. Lo anterior responde a los principios citados de logística militar como son la flexibilidad, la dispersión así como la precisión en tiempo y espacio.

En la segunda etapa se usan las coordenadas de la plataforma central, halladas en la etapa uno, como dato de entrada en un modelo de transporte que genera la selección de los medios de transporte y la asignación de las cargas de los mismos. Por consiguiente una vez finalizadas las dos etapas, se obtiene una solución apropiada al modelo original.

Dicha estrategia de solución presenta una ventaja significativa frente al modelo original al mejorar la eficiencia algorítmica, la facilidad de análisis y el cálculo, lo cual redundará en una solución ágil del mismo.

Por otra parte, el modelo presentado involucra un objetivo de minimización de costo lo cual, tal como se presentó en el marco contextual, no es el único objetivo contemplable dentro del enfoque de logística focalizada, en donde también tienen importancia criterios como la minimización del tiempo de respuesta y la minimización del riesgo entre otros.

Debido a las condiciones del modelo actual y a su posibilidad de complementación, en futuras publicaciones se presentarán modelos relacionados con el cumplimiento de los objetivos alternativos mencionados, así como el abordaje del problema en un enfoque multicriterio.

Adicionalmente es importante destacar que los modelos presentados ofrecen una solución estática para un instante o periodo de tiempo, la cual tiene validez mientras que las condiciones se mantengan.

El permanente cambio de condiciones al cual responden los conceptos de logística focalizada afecta de igual manera la solución de los modelos estáticos, lo que implica que para mejorar su impacto en el proceso de toma de decisiones, su alcance puede ser ampliado al modelarlos en un contexto dinámico, en donde la solución fruto de los modelos de optimización es usada como dato de entrada en un modelo de simulación con retroalimentación, de acuerdo con el enfoque integral y dinámico propuesto en Paulus [23].

Por último el modelo presentado se planteó dentro de un enfoque de logística focalizada el cual fue creado como respuesta primordial ante ambientes de defensa, sin embargo sus alcances pueden ser extendidos a contextos sujetos a condiciones de volatilidad e incertidumbre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BASHEER, M.; KHUMAWALA (1972). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem. Management Science, Application Series Vol. 18, No. 12.
- [2] CHARNES A & COOPER W., (1961). Management Models and Industrial Applications of linear Programming. New York, USA.
- [3] CORDEAU, Jean-François; PASIN Federico, SOLOMON Marius M., 2006. An integrated model for logistics network design. Annals of Operations Research 144, no. 1 (April 1): 59-82. <http://www.proquest.com/> (accessed April 3, 2008).
- [4] DANTZIG, G.B.; (1951) Linear Programming and Extensions. Princeton University Press.
- [5] DEPARTMENT OF DEFENSE, Focused logistics Roadmap, 2005. Disponible en, <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=22548&lang=en-US>
- [6] DEPARTMENT OF DEFENSE, Joint Vision 2020. Publicado en <http://www.dtic.mil/jointvision/jvpub2.htm>. Fecha de consulta 10 de septiembre de 2007.
- [7] ELHEDHLI, Samir; GOFFIN Jean-Louis. (2004). The integration of an interior-point cutting plane method within a branch-and-price algorithm. Mathematical Programming 100, no. 2 (June 1): 267-294. <http://www.proquest.com/> (accessed April 3, 2008).
- [8] HESS, Earl J.; (2006). Retreat from Gettysburg: Lee, Logistics, and the Pennsylvania Campaign, The Journal of American History; 92, 4.
- [9] HUSTON, James A.; The sinews of war: Army Logistics 1775-1953.
- [10] JOINT CHIEFS OF STATE, Focused Logistics campaign plan, 2004. Disponible en <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=32577>
- [11] KALENATIC, D.; (2001). "Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras".1 ed. Bogotá: Centro de investigaciones y desarrollo científico UDFJC.
- [12] KALENATIC, D; LOPEZ, C; GONZALEZ, L; (2006) "Modelo Integral de Producción de Empresas Manufactureras", 1ª Ed, Kimpres, Bogotá, Colombia.

- [13] KENT, John L. Jr y FLINT Daniel J. (1997). Perspectives on the evolution of logistics thought. *Journal of Business logistics*. Vol.18.
- [14] KLOSE A, (1998) A Branch and Bound Algorithm for An Uncapacitated Facility Location Problem with a Side Constraint, *International Transactions in Operational Research*, Volume 5, Number 2.
- [15] LAPORTE G. (1988). Location-routing problems. In *Vehicle Routing: Methods and Studies* (ed. Golden BL and Assad AA). North-Holland, Amsterdam.
- [16] LÓPEZ, C., GONZÁLEZ, L.,(2002). Estimación de los parámetros de un modelo de pronóstico con componente cíclico con programación lineal. *Revista Ingeniería (Bogotá)*. UDFJC: , n.2, p.12 – 20.
- [17] LOVE RF, MORRIS J.G. and WESOLOWSKY G (1998) *Facilities Location*. North-Holland, Amsterdam.
- [18] McGRATH John J, (2007). *The Other End of the Spear: The Tooth to- Tail Ratio (T3R) in Modern Military Operations*, The Long War Series Occasional Paper 23, Combat Studies Institute Press.
- [19] MEHMET, Gümüş; BOOKBINDER James H. (2004) Cross-Docking and its implications in locations-distribution systems. *Journal of Business Logistics* . Vol 25, N°2.
- [20] MOSKOVICH, D. (1995). *Investigación de operaciones*. Editorial, Mc graw hill, México.
- [21] MUYLDERMANS L. and CATTRYSSSE D., VAN OUDHEUSDEN D., (2003). District design for arc-routing applications. *The Journal of the Operational Research Society* 54, no. 11 (November 1): 1209-1221. <http://www.proquest.com/> (accessed April 3, 2008).
- [22] PAGONIS William G, (1992) *Moving Mountains: Lessons in leadership and logistics from the gulf war*, Harvard Business School Press.
- [23] PAULUS Robert, 2003. 'A Full Partner'-Logistics and the Joint Force, *Army Logistician*, Proquest Military Module, N° 35, Vol. 4.
- [24] PAULUS Robert, (2003). Building blocks of Focused Logistics. *Army Logistician*, Proquest Military Module, N° 35, Vol.5.
- [25] PAULUS Robert, (2003). Logistics in the Forgotten war, *Army Logistician*; Proquest Military. N° 35, Vol.6;

- [26] PAULUS Robert. D., (2003). Implementing focused logistics, Army Logistician, N.º 35, Vol. 6.
- [27] POSADA Eduardo, (2000). La logística Militar y sus aplicaciones en la logística empresarial, Revista "Pensamiento y Gestión" Universidad del Norte. Barranquilla. n.º 6, 2000.
- [28] RAMOS, M. T.; SÁEZ J. (2005). Solving capacitated facility location problems by Fenchel cutting planes. The Journal of the Operational Research Society 56, no. 3 (March 1): 297-306. <http://www.proquest.com/> (accessed April 3, 2008).
- [29] RIOS Insua S., (1998). Programación Lineal y Aplicaciones. RAMA, Madrid, España.
- [30] SUNG, C.S. and S H SONG. (2003) Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. The Journal of the Operational Research Society 54, no. 12 .
- [31] THOMPSON Brockmann y PATTY (19997). Godin.. Flexibility for the future in warehouse design. IIE Solutions. 97,7; ABI/INFORM Global Pg.22.
- [32] VIDAL C and GOETSCHALCKX M, (1997) Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models. European Journal of Operational Research.