

Diseño de un modelo de redes para el ruteo de vehículos de carga liviana para la distribución de valores

KAREN NATHALY ISABEL CASTELLANOS BALLESTEROS¹
PEDRO JOSÉ SÁNCHEZ CAIMÁN²

RESUMEN

En el área de transporte de valores lo más importante para el cliente es la seguridad. Garantizar la calidad de la seguridad es una responsabilidad incluso luego de la prestación del servicio. Por eso, pensando en la atomización del riesgo y buscando mantener absoluta discreción, se planteó utilizar flotas livianas para distribución de dinero y dejar de utilizar vehículos blindados. Para implementar este modelo debía evaluarse la cantidad de rutas por realizar a través de la flota liviana (motocicletas), y teniendo en cuenta restricciones operativas generadas por limitaciones del vehículo o políticas de seguridad. Se diseñó un modelo a través de programación lineal entera que determina la mejor opción para cada punto en el que se van a realizar entregas de valores.

Palabras clave: centralización, distribución, programación lineal entera, transportadora de valores.

¹ Ingeniera industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en Gerencia Logística, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: karen.castellanos91@gmail.com

² Ingeniero industrial. Ph.D. (c). Docente asistente, Facultad de Ingeniería, Investigador grupo PIT, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: pedro.sanchez@unimilitar.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 29 DE NOVIEMBRE DE 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 20 DE ABRIL DE 2015

Cómo citar este artículo: Castellanos Ballesteros, K. N. I. y Sánchez Caimán, P. J. (2015). Diseño de un modelo de redes para el ruteo de vehículos de carga liviana para la distribución de valores. *Épsilon*, (25), 139-155.

Design of a Network Model for Routing Light Duty Vehicles for Distribution of Securities

ABSTRACT

The most important thing for clients in the field of transportation of securities is safety. Ensuring the quality of security is a responsibility even after providing the service. Therefore, thinking on atomization of the risk, and aiming to maintain absolute discretion, a suggestion was made to use lightweight fleets for distributing money instead of armored vehicles. In order to implement this model, it was necessary to evaluate the amount of the number of routes to be done with the light fleet (motorcycles), and considering operational constraints resulting from limitations of the vehicle or from security policies. A model was designed through integer linear programming, which determines the optimal choice for each point of delivery of securities.

Keywords: centralization, distribution, integer linear programming, transporter of securities.

Desenho de um modelo de redes para o roteamento de veículos de carga leve para a distribuição de valores

RESUMO

Na área de transporte de valores o mais importante para o cliente é a seguridade. Garantir a qualidade da seguridade é uma responsabilidade inclusive depois da prestação do serviço. Por isso, pensando na atomização do risco e buscando manter absoluta discricção, se propôs utilizar frotas leves para distribuição de dinheiro e deixar de utilizar veículos blindados. Para implementar este modelo devia avaliar-se a quantidade de rotas a realizar através da frota leve (motocicletas), e levando em conta restrições operativas geradas por limitações do veículo ou políticas de seguridade. Desenhou-se um modelo através de programação lineal inteira que determina a opção ótima para cada ponto no qual se realizarão entregas de valores.

Palavras chave: centralização, distribuição, programação lineal inteira, transportadora de valores.

Introducción

A diario las organizaciones de solución logística para documentos de riesgo realizan la entrega de dinero y documentos en diferentes puntos de la ciudad, y tienen, por lo general, un solo punto de distribución (Zuo y He, 2010); en algunas ocasiones utilizan centros de acopio (Shui, Ye, Zhao y Liu, 2008). A partir de esto, se resalta la importancia de una programación de los recorridos que se van a realizar en los vehículos, con el fin de lograr una optimización, aprovechamiento y correcta asignación de los recursos con los que dispone.

En este artículo se plantea una alternativa de solución al problema de *ruteo de vehículos* aplicada en variables asociadas al riesgo y el monto de dinero transportado por la empresa; se analiza el método actual de enrutamiento (Wenning, 2009; Wenning, Timm-Giel y Pesch, 2006), con la intención de evaluar la cantidad de rutas que se recorren, las que se podrían realizar con el modelo planteado y la utilización de diferentes vehículos que optimicen la operación para facilitar la distribución.

Se ha planteado un modelo para realizar las respectivas cantidades de rutas que se pueden recorrer en cada uno de los puntos en los que se distribuye actualmente. Tal modelo tiene como restricciones el peso y la cantidad de valor que se transporta. Es importante resaltar que el modelo se realizó con las cantidades que se distribuyen en la actualidad debido a que la idea no es reducir la cantidad que se va a enrutar, sino la cantidad de rutas por generar, a fin de optimizar la red de recolección.

Antecedentes

Gran parte del costo del servicio de transporte de dinero en Colombia está dado por los requerimientos de seguridad para los vehículos que llevan el dinero y la mano de obra altamente capacitada para custodiarlo y reducir el riesgo de un siniestro (Guillemet et al., 1992; Morillos, Adjo, Ross y Meyer, 2009; Scholz-Reiter y Zabel, 2011). La adecuación física del vehículo (Sánchez Gálvez, 2009) para soportar ataques externos (blindaje), el precio elevado del combustible debido al gran peso de los vehículos y el costo del recurso humano involucrado en los recorridos hacen que cada parada en un punto tenga un precio muy alto, por lo que debe maximizarse la utilización de los recursos. Por eso cada punto visitado debe justificar los costos involucrados.

Había un cliente que requería la entrega de altas sumas de dinero para su administración diaria. A él se le ofreció la entrega de dinero realizando pocas visitas en las que se le diera una alta cantidad. Dado que estas visitas eran programadas, era fácil identificar que tras la llegada de uno de estos vehículos de transporte se dejaban altas cantidades de dinero, lo cual exponía a los establecimientos a que se presentara un siniestro. Por tal razón, el cliente sugirió incrementar las frecuencias de las visitas y reducir la cantidad de entregas de dinero (Plaut, 2002).

Debido al alto costo de tocar un punto, incrementar la frecuencia o reducir la cantidad de dinero para entregar, no sería viable económicamente. Por ello se evaluó la necesidad de hacerlo a través de flotas ligeras (motocicleta) (Zak, Redmer y Sawicki, 2011) que transportan otra clase de documentos como títulos, valores y mercancía de tamaños reducidos. Sin embargo, para poder transportar estos documentos una flota ligera tiene restricciones tanto de peso como de monto total que se debe transportar, y por eso a través de este medio se incrementan los riesgos. Tales motivos han hecho que este medio no sea utilizado para la distribución de dinero.

Metodología

La estructura del trabajo de investigación consta de dos partes. La primera corresponde al entendimiento de la figura actual del negocio con el cambio que representaría para la cadena de abastecimiento la propuesta planteada (Ivanov, Dolgui y Sokolov, 2012; Qi y Chu, 2009). En la segunda parte, en función de la diferencia y los cambios, se establece la cantidad de paradas que deberían realizarse por punto, según la nueva estructura, y con esta las variables, restricciones, parámetros y características del nuevo sistema. La cadena logística (Zhou, Zhou y Qu, 2008; Ma, Zhang y Ye, 2011) se desarrolla alrededor de kits con cantidades de dinero específicas para satisfacer las necesidades de los clientes. A continuación se muestra en la tabla 1 la composición de billetes y monedas de cada kit y se observan las diferencias en peso y valor de cada uno de estos.

Tabla 1. Esquema de elementos del problema

ÍTEM DE KIT	DENOMINACIÓN EN PESOS COLOMBIANOS (BILLETES Y MONEDAS)							EQUIVALENCIA EN VALOR (\$)	PESO (KG)
	\$5000	\$2000	\$1000	\$500	\$200	\$100	\$50		
XL	40	35	30					300.000	0,0176
L	20	30	20					180.000	0,7300

ÍTEM DE KIT	DENOMINACIÓN EN PESOS COLOMBIANOS (BILLETES Y MONEDAS)							EQUIVALENCIA EN VALOR (\$)	PESO (KG)
	\$5000	\$2000	\$1000	\$500	\$200	\$100	\$50		
M	8	16	30	20	25	40	40	121.000	0,7760
S	6	11	10		25	40	40	71.000	0,6045
XS		5	6	20			40	30.000	0,3772

Fuente: elaboración propia.

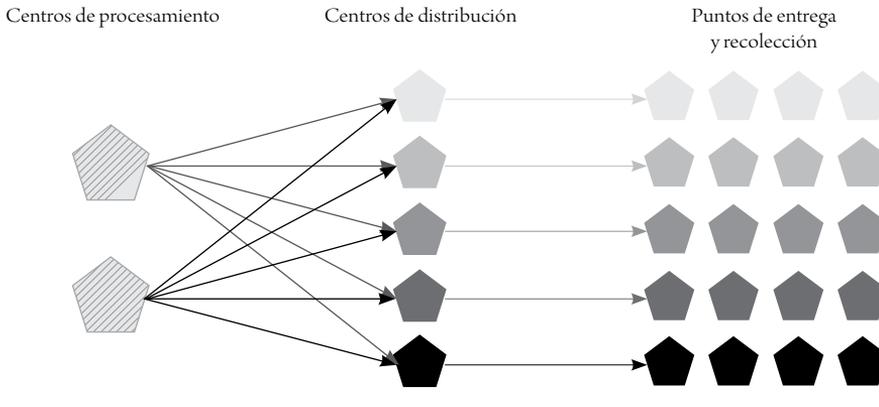


Figura 1. Esquema de la red inicial

Fuente: elaboración propia.

Para la entrega de este producto, la cadena logística consiste en las siguientes etapas: elaboración y custodia de los kits, enrutamiento y distribución. Los kits se elaboran en dos centros de procesamiento y se envían a centros de distribución ubicados en varias zonas de la ciudad (figura 1). Estos centros de distribución cumplen dos tareas: la custodia de los kits y el enrutamiento (Xu, Hu, Xuan y Lin, 2008; Scholz-Reiter y Zabel, 2011) para su posterior distribución en los puntos de la zona de influencia de cada uno de estos. El proceso de distribución funciona de la siguiente manera: generalmente los clientes solicitan una cantidad específica de kits mensuales para satisfacer sus necesidades; en función de la disponibilidad de medios de transporte, se enrutan los combos y se realizan de una a cinco entregas mensuales por punto.

El objetivo del distribuidor para hacer rentable la visita en cada punto es el de entregar la mayor cantidad de dinero en una sola visita. Debido a esto, los clientes sienten un incremento en el riesgo al tener que almacenar mayores cantidades de dinero para su consumo día a día, lo que implica tanto costos de almacenamiento

como incremento en las medidas de seguridad. En resumen, los principales inconvenientes de realizar la distribución (Ni, Gao y Liu, 2010) utilizando flota de transporte blindado (Li, Xu y Meng, 2009) son: alto costo de visita por punto, baja frecuencia de entregas e incremento en el riesgo para el cliente.

La posibilidad de distribuir este producto se evalúa a través de un tipo de transporte liviano, con el fin mitigar, de esta manera, el impacto de los inconvenientes del proceso actual. Sin embargo, se presentan restricciones para la distribución de este producto. El proveedor plantea que en la visita de cada punto el monto transportado no puede exceder de los \$2.000.000 COP, y por motivos de capacidad el operador no puede cargar más de 8 kg. Con estas restricciones las rutas que se realicen por este medio solo visitarían un punto y luego retornarían al centro de consolidación. Para la ejecución de este proyecto se planteó la siguiente estructura de red (Lijun y Xuewu, 2009) (figura 2).

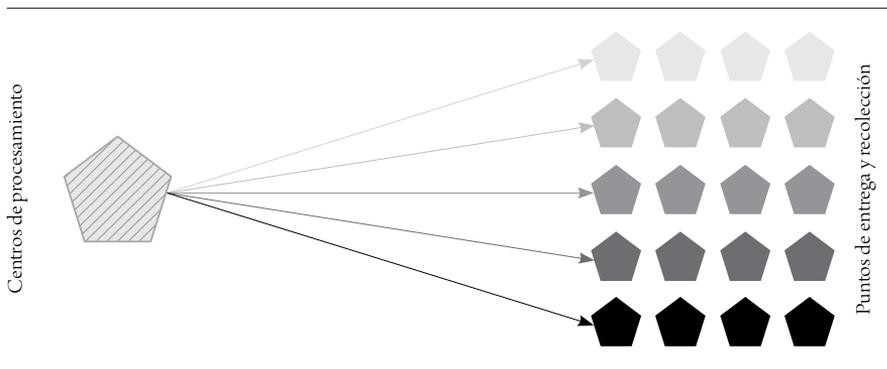


Figura 2. Esquema de la red propuesta

Fuente: elaboración propia.

Con esta premisa el objetivo es determinar la distribución óptima de los recursos para satisfacer la demanda (Kwag, Kim, Shin, y Rhee, 2011) de los puntos por visitar como herramienta, para luego evaluar si es más rentable realizar varias entregas o continuar con el modelo actual. Como se observa en la figura 2, se plantea un punto de consolidación centralizado (Junuzovic, Chung y Dewan, 2005; Wang y Yu, 2009) para el almacenamiento y distribución del producto. Se eligió el modelo centralizado sobre el descentralizado (Sisli y Temeltas, 2008; Wu y Zhou, 2008; Clare y Cummings, 2011) debido a que los centros de acopio poseen una limitación de espacio para destinar un área de almacenamiento, lo cual incrementa los costos de adecuación de infraestructura.

Diariamente se entregarán al centro de consolidación del proveedor las unidades selladas y con su respectivo documento de trazabilidad para enrutarse, según la composición definida en el modelo de programación lineal (Zangiabadi y Maleki, 2007). A través de un proceso de *cross-docking* (Magableh, Rossetti y Mason, 2005; Vis y Roodbergen, 2008), el producto ingresa al sistema de información del proveedor, donde se le asigna el operador que va a realizar la distribución, se prepara la carga y se alistan los paquetes de kits para ser entregados. También se plantea visitar un punto por ruta, esto debido a las restricciones de peso y cantidad de dinero. En este caso, si un funcionario debe visitar varios puntos en el día tendrá que ir la misma cantidad de veces al centro de consolidación a recoger su carga. Luego de la entrega el proveedor debe entregar pruebas de la trazabilidad del proceso.

Formulación modelo general propuesto

En esta etapa de la investigación se desarrolló un modelo basado en programación lineal entera que determina la mejor opción para cada punto en el que se van a realizar entregas de valores. El planteamiento de este problema está determinado por el siguiente modelo:

Función objetivo: $Min Z = CF_k * X_{ijk}$

VARIABLES DE DECISIÓN:

$X_{ijk} =$ Cantidad de kits "i" para entregar en el punto "j" en la ruta "k"

$i = A, B, C, D, E \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5$

$j = PE_1, PE_2, PE_3, PE_4, PE_5, PE_6, PE_7, \dots, PE_{62} \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots, 62$

$k = R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, \dots, R_{50} \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots, 50$

Parámetros:

$D_{ji} =$ Cantidad necesaria de kits "i" para distribuir en el punto de entrega "j"

$i = A, B, C, D, E \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5$

$$j = PE_1, PE_2, PE_3, PE_4, PE_5, PE_6, PE_7, \dots, PE_{62} \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots, 62$$

$$P_i = \text{Peso del kit tipo "i"}$$

$$i = A, B, C, D, E \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5$$

$$V_i = \text{Valor en dinero del kit "i"}$$

$$i = A, B, C, D, E \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5$$

$$CF_k = \text{Coeficiente de castigo a la cantidad de salidas "k"}$$

$$k = R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, \dots, R_{50} \leftrightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots, 50$$

$$P_i X_{ijk} \leq PMO$$

$$V_i X_{ijk} \leq CMO$$

$$PMO = \text{Peso máximo por operador}$$

$$PMO = 8 \text{ kg}$$

$$CMO = \text{Cantidad máxima de dinero para cargar por operador}$$

$$CMO = \$2.000.000$$

El modelo se planteó en función de una variable objetivo que pretende minimizar la cantidad de rutas que se van realizar en cada uno de los 62 puntos. Tiene como variable de decisión la cantidad de kits para entregar en cada uno de los puntos en cada una de las rutas (X_{ijk}). Además de esto se tienen en cuenta unos parámetros para la elaboración de este, que son: la cantidad de kits para distribuir en el punto de entrega (D_{ij}); el peso de cada uno de los kit (P_i); el valor de dinero que se carga en cada uno de los kits (V_i); el coeficiente de castigo a la cantidad de salidas que se realizan, pues solo puede hacer un máximo de 50 salidas, ya sea llevando kits o regresando a recogerlos. Finalmente, se tienen dos restricciones: una de peso, ya que solo pueden cargar 8 kg debido a cuestiones ergonómicas (PMO), y otra de dinero, puesto que solo puede cargar \$2.000.000 por cuestiones de seguridad (CMO).

Caso de estudio: situación general

A continuación podemos observar un resumen de los resultados para algunos puntos; de esta manera se puede confirmar que la ejecución del modelo es correcta porque ninguno de los puntos superó las restricciones de peso y volumen planteadas (tabla 2).

Tabla 2. Esquema de resultados del modelo

PUNTO	PARADAS BLINDADAS AL MES	PARADAS MOTORIZADAS AL MES	%	PROM. PESO	PROM. VALOR	SENSIBILIDAD PESO (%)	SENSIBILIDAD VALOR (%)
31	1	15	1400	7,86	1.413.000	98,30	70,65
7	4	48	1100	7,31	1.921.875	91,42	96,09
11	3	36	1100	7,76	1.447.600	97,00	72,38
8	4	41	925	7,78	1.607.500	97,29	80,38
9	4	40	900	7,75	1.678.571	96,82	83,93
10	4	39	875	7,83	1.510.455	97,88	75,52
12	4	29	625	7,49	1.889.259	93,59	94,46
13	4	28	600	7,62	1.894.074	95,24	94,70
50	3	21	600	7,35	1.611.222	91,91	80,56
34	2	14	600	7,83	1.624.333	97,93	81,22
35	2	14	600	7,84	1.579.286	97,94	78,96
45	4	27	575	7,74	1.642.467	96,80	82,12
37	2	13	550	7,72	1.513.333	96,52	75,67
38	2	13	550	7,87	1.871.000	98,38	93,55
14	3	19	533	7,60	1.776.200	95,04	88,81
46	4	25	525	7,71	1.653.500	96,34	82,68
26	3	17	467	7,62	1.513.875	95,30	75,69
27	3	17	467	7,84	1.565.111	98,03	78,26
47	4	22	450	7,35	1.924.800	91,88	96,24
48	4	22	450	7,23	1.474.375	90,34	73,72
41	2	11	450	7,90	1.792.000	98,76	89,60

Fuente: elaboración propia.

El formato de los resultados muestra datos de las paradas que se vienen realizando con los vehículos blindados *versus* la cantidad de paradas que debe realizarse con motorizados (información arrojada tras el modelo de programación lineal entera realizado). A partir de esta información se calculó el porcentaje de incremento en cantidad de visitas por punto al mes, lo cual permitió, de esta manera, evaluar de forma equivalente la relación entre la situación actual y el modelo propuesto. En función de la información mostrada, a continuación se realizó una prueba piloto, en la que se ejecutó el modelo logístico en diez puntos y en la cual el proveedor de motorizados llegó a la conclusión de que la mejor alternativa era realizar este proyecto a través de un modelo centralizado (tabla 3).

Tabla 3. Ejemplo de los 10 puntos ejecutados en el modelo logístico

PUN- TOS	PESO TOTAL POR ENTRE- GAR (KG)	DINERO TOTAL A ENTREGAR POR PUNTO (\$)	PARADAS POR REALIZAR		PESO PROMEDIO (KG)		DINERO PROMEDIO	
			VEHÍCULO BLIN- DADO	MOTO- RIZA- DOS	VEHÍCULO BLIN- DADO	MOTO- RIZA- DOS	VEHÍCULO BLINDADO (\$)	MOTO- RIZADOS (\$)
1	93,9	16.590.000	3	13	31,3	7,2	5.530.000	1.276.154
2	79,6	15.260.000	3	11	26,5	7,2	5.086.667	1.387.273
3	74,0	14.350.000	2	10	37,0	7,4	7.175.000	1.435.000
4	84,9	14.290.000	3	11	28,3	7,7	4.763.333	1.299.091
5	74,1	13.960.000	3	11	24,7	6,7	4.653.333	1.269.091
6	68,5	12.660.000	3	10	22,8	6,8	4.220.000	1.266.000
7	59,0	10.950.000	4	8	14,7	7,4	2.737.500	1.368.750
8	63,8	10.570.000	4	9	15,9	7,1	2.642.500	1.174.444
9	31,5	4.640.000	2	4	15,7	7,9	2.320.000	1.160.000
10	18,8	3.310.000	1	3	18,8	6,3	3.310.000	1.103.333

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se muestra la propuesta para realizar el modelo de distribución a través de los motorizados. Aquí todo el dinero se encuentra en la sede principal, y de ahí se distribuye directamente a los demás puntos.

Análisis y discusión de resultados

De acuerdo con la ejecución del modelo de programación lineal entero (Tang, Zhang y Pan, 2010) que se planteó a través del software GAMS, se encontró la

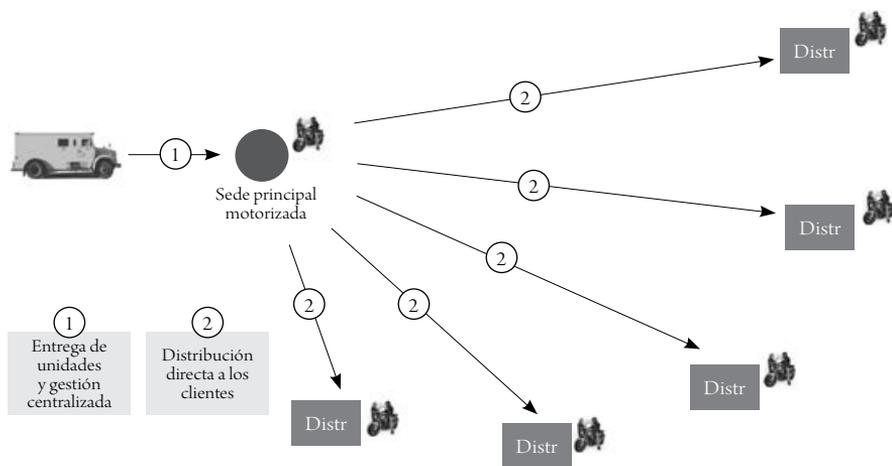


Figura 3. Modelo de distribución propuesto por el proveedor

Fuente: elaboración propia.

cantidad de recorridos para realizar por punto a través de la estructura logística planteada anteriormente (flota liviana), en función de las restricciones de peso y valor. El incremento de rutas para realizar fue de un 357 % respecto a las rutas realizadas con el sistema de vehículos blindados (tabla 4).

Tabla 4. Resumen de resultados

PUNTO	PARADAS BLINDADOS AL MES	PARADAS MOTORIZADOS AL MES	% INCREMENTO VISITAS POR PUNTO	PROM. PESO	PROM. VALOR
Total	211	964	357	7,59	1.646.178

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los resultados obtenidos por el modelo, en la figura 4 se muestra la relevancia que tuvo cada una de las restricciones en el incremento de puntos por tocar. Aquí se puede concluir que la restricción que impacta a más puntos es la de peso. Además, observando el pareto de los puntos que se visitan con motorizados, el 80 % está restringido principalmente por el peso y el 20 % restante por la restricción de valor. Con los resultados obtenidos la operación definió que a 37 de los 62 puntos es posible apalancarlos con rutas ya existentes y los otros 25 requerirán incorporar personal exclusivo (figura 5).

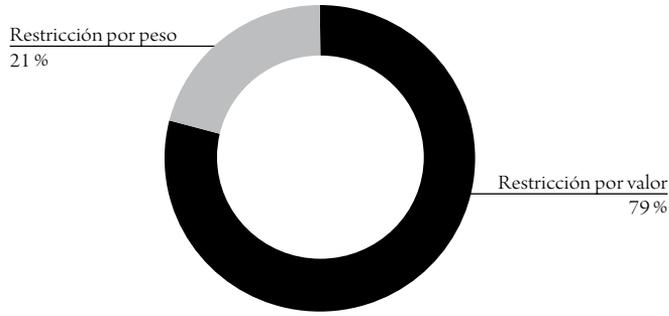


Figura 4. Composición de la restricción de mayor impacto por punto

Fuente: elaboración propia.

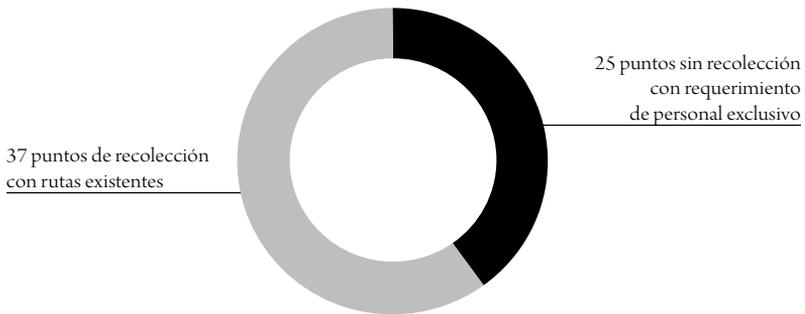


Figura 5. Puntos a requerir involucrar personal exclusivo

Fuente: elaboración propia.

Observando el top 10 de puntos con mayor cantidad total de dinero para entregar por mes, se puede ver que la mayor restricción por impacto es la de valor. Solo tres puntos de estos tienen como restricción de impacto el peso; de esta manera, teniendo un promedio del porcentaje de 418 % superior al promedio del porcentaje total (357 %) se confirma que es más costoso distribuir el dinero a los puntos con mayor volumen a través de motorizados (tabla 5).

Tabla 5. Top 10 de puntos con mayor volumen de dinero para entregar

PUNTO	TOTAL DINERO PARA ENTREGAR (\$)	RESTRICCIÓN DE MAYOR IMPACTO	INCREMENTO DE VISITAS/MES A CADA PUNTO (%)
7	92.250.000	Valor	1100
6	76.090.000	Peso	0

PUNTO	TOTAL DINERO PARA ENTREGAR (\$)	RESTRICCIÓN DE MAYOR IMPACTO	INCREMENTO DE VISITAS/ MES A CADA PUNTO (%)
32	73.860.000	Valor	367
54	67.690.000	Valor	200
17	55.580.000	Valor	200
12	51.310.000	Valor	625
13	51.140.000	Peso	600
53	48.850.000	Peso	275
47	48.120.000	Valor	450
33	39.350.000	Valor	367
			418

Fuente: elaboración propia.

Ocurre de manera muy similar con los puntos donde se debe entregar más peso a lo largo del mes que su promedio de incremento de visitas al mes por punto sea mayor al promedio de visitas al mes de todos los puntos (357 %). Sin embargo, difiere en que la restricción que tiene mayor impacto es la de peso; de esas diez solo cuatro tienen un impacto en la restricción de valor, por lo que se confirma que es más costoso distribuir el dinero a los puntos con mayor peso a través de motorizados (tabla 6).

Tabla 6. Top 10 de puntos con mayor peso total para entregar

PUNTO	TOTAL PESO ENVÍOS (KG)	RESTRICCIÓN DE MAYOR IMPACTO	INCREMENTO DE VISITAS/ MES A CADA PUNTO (%)
24	267	Peso	275
5	170	Peso	0
7	147	Valor	1100
21	109	Peso	600
47	99	Valor	0
53	95	Peso	150
10	95	Peso	333
40	92	Peso	900
20	90	Valor	625
48	89	Valor	200
			421

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

- El modelo planteado desarrolla una aplicación para diseño de redes de distribución basado en el análisis de riesgo; tiene en cuenta el factor de seguridad del cliente. En esta fase inicial del proyecto se utilizó un vehículo diferente al blindado a través del modelo de programación lineal planteado. Se puede decir que los resultados obtenidos con los vehículos motorizados pueden ser rentables siempre y cuando el costo promedio de definir un punto n veces durante el mes mediante vehículos blindados sea mayor al 357 % respecto a tocarlos con un motorizado. De lo contrario, siempre será mejor hacerlo a través de un vehículo pesado (blindado). De ser así, el nuevo sistema será rentable para la empresa en el contexto general.
- La restricción generó un alto costo en el modelo planteado debido a la restricción de peso, ya que era la que primero se cumplía en muchos casos, llegando casi hasta el tope de los kilogramos permitidos por condiciones de ergonomía (Steinfeld, Mortimer, Harder, Neale y Sayer, 2000).
- Teniendo en cuenta las proporciones de las rutas realizadas a través de los vehículos de carga pesada (blindados) con las rutas arrojadas por el modelo para realizar a través de los motorizados, si el costo por los vehículos blindados es diez veces mayor, el 95 % de los puntos será más rentable de operar desde los motorizados.
- Estudios posteriores deben desarrollar un modelo basado en múltiples vehículos y en el factor riesgo, que tenga en cuenta modelos de gestión y operación en este tipo de organizaciones, como es el caso de los procesos de transporte de valores. Es importante desarrollar modelos adaptados a sistemas de información geográfica similares al caso de los modelos de gestión.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Militar Nueva Granada, al grupo de investigación de Producción, Innovación y Tecnología, dentro de la línea de Productividad.

Referencias

- Clare, A. S. y Cummings, M. L. (2011). *Task-based interfaces for decentralized multiple unmanned vehicle control*. Documento procedente de Unmanned Systems North America Conference. Vol. 2 (pp. 1205-1213). Washington, D. C.
- Guillemet, J., Geoffroy, M., Houthoof, M., Cnudde, H., Bjoners, R., Govaerts, R. y Vandewalle, J. (1992). Axytrans HDS—Secure transport of money and valuables, protected by information technology. *Office of Engineering Services (Bulletin)*, 29-35.
- Ivanov, D., Dolgui, A. y Sokolov, B. (2012). Applicability of optimal control the adaptive supply chain planning and scheduling. *Annual Reviews in Control*, 36(1), 73-84.
- Junuzovic, S., Chung, G. y Dewan, P. (2005, septiembre). *Formally analyzing two-user centralized and replicated architectures*. Documento procedente de The 9th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work (pp. 83-102). París.
- Kwag, H., Kim, J., Shin, D. y Rhee, Ch. (2011). Modeling demand response by using registration and participation in formation of demand resources. *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 60(6), 1097-1102.
- Li, X., Xu, Z. y Meng, X. (2009, julio). *R&D costing analysis and prediction modeling of armored vehicles*. Documento procedente de 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (pp. 9-11). Chengdú, China.
- Lijun, Ch. y Xuewu, Ch. (2009, agosto). *Structure system model of modern logistics*. Documento procedente de The 9th International Conference of Chinese Transportation Professionals (pp. 1-13). Harbin, China.
- Ma, X., Zhang, J. y Ye, H. (2011). *A combinatorial optimization selection method of logistics chain*. Documento procedente de The 3rd International Conference on Transportation Engineering (pp. 2193-2198). Chengdú, China.
- Magableh, G. M., Rossetti, M. D. y Mason, S. (2005, diciembre). *Modeling and analysis of a generic cross-docking facility*. Documento procedente de Winter Simulation Conference (pp. 1613-1620).
- Morallos, D., Adjo, A., Ross, C. y Meyer, M. (2009). Value for money analysis in U. S. transportation public-private partnerships. *Transportation Research Record*, (2115), 27-36.
- Ni, Zh., Gao, Y. y Liu, Y. (2010, octubre). *The application of improved genetic algorithm in optimization of logistics distribution routing*. Documento procedente de The International Conference of Logistics Engineering and Management. Vol. 387 (pp. 3176-3182). Chengdú, China.
- Plaut, P. O. (2002, julio). *Warehousing and the efficiency of the transportation system*. Documento procedente de Conference on Traffic and Transportation Studies (pp. 334-341). Guilin, China.

- Qi, Y. y Chu, Zh. (2009, septiembre). *The impact of supply chain strategies on supply chain integration*. Documento procedente de International Conference on Management Science and Engineering - 16th Annual Conference (534-540). Moscú.
- Sánchez Gálvez, V. (2009). Analysis of failure of add-on armour for vehicle protection against ballistic impact. *Engineering Failure Analysis*, 16(6), 1837-1845.
- Scholz-Reiter, B. y Zabel, Ch. (2011). *Influences of communication disruptions on decentralized routing in transport logistics*. Documento procedente de 2nd. International Conference on Fluid Mechanics and Heat and Mass Transfer, Bremen.
- Shui, W, Ye, H, Zhao, J. y Liu, M. (2008). A dynamic multiple objective model of location problem of emergency logistics distribution centers. En: Rongfang (Rachel) L., Jin Zh. y Changqian G. (Eds.), *Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China* (pp. 929-934). Chengdú, Sichuan, China.
- Sisli, U. Y. y Temeltas, H. (2008). Formation graphs and decentralized formation control of multi vehicles with kinematics constraints. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 44, 93-101.
- Steinfeld, A., Mortimer, R. G., Harder, K. A., Neale, V. L. y Sayer, T. B. (2000). Human factors in specialty road vehicles. *Human Factors and Ergonomics Association*, 44(20), 271-273.
- Tang, J, Zhang, J. y Pan, Zh. (2010). A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4073-4083.
- Vis, I. y Roodbergen, K. (2008). Positioning of goods in a cross-docking environment. *Computers and Industrial Engineering*, 54(3), 677-689.
- Wang, T. y Yu, Sh. (2009, agosto). *Centralized botnet detection by traffic aggregation*. Documento procedente de IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (pp. 86-93). Chengdú, China.
- Wenning B., Timm-Giel, A. y Pesch, D. (2006, septiembre). *A distributed routing approach for vehicle routing logistic networks*. Documento procedente de 64th IEEE Vehicular Technology Conference (pp. 2960-2964). Montreal, Canadá.
- Wenning, B. (2009, octubre). *Scalability investigations on communication traffic in distributed routing of autonomous logistic objects*. Documento procedente del 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (pp. 8-12). Lille, Francia.
- Wu, W. y Zhou, R. (2008). Decentralized optimal control of coordination target awareness with multiple vehicles. *Beijing Hangkong Hangtian Daxue Xuebao / Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 34(9), 1057-1060.
- Xu, L., Hu, D., Xuan, D. y Lin, H. (2008, octubre). *A tabu search algorithm to logistics network design for multiple hub location routing problem*. Documento procedente de The 8th

International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals (pp. 889-896). Chengdú, China.

Zak, J., Redmer, A. y Sawicki, P. (2011). Multipleobjective optimization of the fleet sizing problem for road freight transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 45(4), 321-347.

Zangiabadi, M. y Maleki, H. R. (2007). A method for solving linear programming problems with fuzzy parameters based on multi objective linear programming technique. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 24(4), 557-573.

Zhou, F., Zhou, Zh. y Qu, Zh. (2008, octubre). *Reverse logistics chain models with product remanufacturing based on B to C pattern*. Documento procedente de The 8th International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals (pp. 897-903). Chengdú, China.

Zuo, B. y He, Zh. (2010, agosto). *The route optimization in logistic distribution based on improved ant colony algorithm*. Documento procedente del 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, vol. 6, Chengdú, Sichuan, China.

