

Modelo matemático para determinar la ubicación de Centros de Distribución en un contexto real

Mathematical model to determinate Distribution Centers location in a real context

Juliana Niño-Vargas¹, Henry Lamos-Díaz²

^{1,2}Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

Juliana.ing.ind@gmail.com

Hlamosdiaz@gmail.com

Resumen - En el presente trabajo se considera el problema de localización de instalaciones, en el cual se busca determinar la mejor ubicación de depósitos que deben funcionar en una red de distribución. La solución del problema se lleva a cabo mediante la formulación de un modelo de programación lineal entera binaria, para múltiples productos. El objetivo es minimizar la suma del costo total, que comprende el costo de transporte, el costo fijo de instalación, el costo de servicios públicos y el costo tributario.

El modelo matemático se validó en un contexto real, para el caso de una comercializadora de textiles en Colombia, utilizando el software GAMS. Los resultados evidencian una mejora en el costo total de la red de distribución de la comercializadora.

Palabras clave– Localización, Transporte, Logística, Programación entera binaria, Red de Distribución.

Abstract - This paper considers the facility location problem, in which the main purpose is to determinate the best place to locate the depots in a distribution network. For this, a mathematical model in binary integer linear programming is formulated, for multiple products. The objective is to minimize the sum of the total cost, considering customers and suppliers location, transportation cost, fixed cost of setting up a facility, utility cost and tax cost.

The mathematical model was validated in a real life case study in a textile trading company in Colombia, using the software GAMS. The results show an improvement of the total cost in the company's distribution network.

Key Word – Location, Transportation, Logistics, Integer programming, Distribution Network.

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe un caso colombiano del problema de localización de instalaciones o Centros de Distribución. En Colombia, el sector textil es considerado uno de los más importantes y está compuesto por empresas productoras y empresas comercializadoras. El presente estudio se realizó eligiendo, de este sector, una de las comercializadoras de

materias primas más representativas del país. La compañía vende tela en presentaciones de rollos y bultos, y además láminas de EVA¹. Sus clientes se encuentran ubicados en todo el país, con proveedores nacionales e internacionales. La entrega de pedidos a los clientes de la empresa exige elevados niveles de respuesta.

El problema de localización de instalaciones ha sido ampliamente estudiado, y cuenta con múltiples aplicaciones [1]. Las empresas realizan estudios de red de distribución que permiten reestructurar la configuración de la red actual, ubicar instalaciones o mejorar su estrategia de distribución y entrega de pedidos a los clientes, con el propósito de impactar significativamente variables como el costo logístico o el nivel de servicio requerido por los clientes.

Este tipo de análisis, generalmente pretende definir el número óptimo de centros de distribución para una organización y la forma en que se atenderá la demanda desde los mismos.

Por lo anterior, el propósito de la presente investigación es definir una red de distribución, en donde adicionalmente a variables como el costo de transporte, de almacenamiento o de operación; se introducen aspectos legales y tributarios, y se formula el problema para múltiples productos.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta la revisión de literatura respecto a los principales aportes que se han hecho en la investigación de operaciones al problema de localización de instalaciones; en la sección 3 se plantea la formulación del modelo matemático; la sección 4 se describe la aplicación del problema a la comercializadora de textiles de Colombia; y finalmente se encuentran los resultados y conclusiones, en la sección 5 y 6 respectivamente.

¹ Etil Vinyl Acetato

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La Red de Distribución es un componente principal de un proceso integrado que se conoce como cadena de suministro. Según [2] en este proceso trabajan en conjunto proveedores, fabricantes, distribuidores y minoristas, con el propósito de: (a) adquirir materias primas, (b) transformar estas materias primas en producto terminado, y (c) distribuir estos productos terminados a los minoristas.

La interacción entre el conjunto de entidades genera diferentes diseños de la cadena de suministro, [3-7].

El problema de localización de instalaciones, por afectar directamente la Red de Distribución, juega también un papel importante dentro de la cadena de suministro, al abordar decisiones con respecto al número y localización de las bodegas, su capacidad, la asignación de clientes o regiones de demanda a una o más bodegas, la selección de los proveedores y el flujo de productos entre instalaciones. [8].

En [9], se diseña una cadena de suministro mediante un modelo de minimización de costos y tiempo, en donde el punto de partida es el número y localización de los proveedores y clientes, para analizar alternativas o canales de transporte de productos de un lugar a otro; cada uno asociado a un tiempo y un costo unitario, y bajo el supuesto de que los centros de distribución no almacenan inventario.

[10] realiza una comparación entre siete algoritmos heurísticos para la programación de la producción y/o distribución, con el objetivo de minimizar el costo de mantener inventarios y los costos fijos involucrados. [11-12] estudian el problema de localización de instalaciones a nivel internacional, teniendo en cuenta las variaciones en el precio de los productos y la incertidumbre en las tasas de cambio. [13] integran la producción, inventario y distribución, en un modelo determinístico mediante el cual se puede calcular el nivel de inventarios y los tiempos de entrega asociados al menor costo; el objetivo es prevenir el desabastecimiento y minimizar el inventario obsoleto en cada instalación o bodega de almacenamiento.

[14] incorporan a los gastos de distribución, además del transporte, los impuestos, y su estudio toma importancia por reflejar el costo y el tiempo en la misma función objetivo. Posteriormente, [15] integra en un modelo los costos de producción y distribución para un problema de localización internacional, y contempla el diseño de estrategias para la capacidad y localización de instalaciones cuando se tienen cambios inciertos.

En años más recientes, la globalización económica ha creado nuevas oportunidades para que las compañías puedan expandir sus negocios, ofreciendo sus servicios en todo el mundo; esto exige considerar nuevos factores que consideren variables que probablemente en tiempos atrás no se consideraron. Los modelos han incorporado variables como el costo de transferencia, tarifas de exportación e impuestos de importación [16]; el *market share* de los productos según

sus atributos, así como costos de producción e inventario para cada instalación en específico [17]; la posibilidad de elegir la forma en que se transportarán los productos entre las instalaciones [18]; y problemas multiobjetivo para minimizar el costo total, maximizar la demanda satisfecha de los clientes y minimizar la capacidad ociosa de los centros de distribución [19].

Además, en el siglo XXI los clientes han tomado especial atención y se encuentran casos en los que se optimiza el costo incluyendo el costo de entrega tardía al cliente [20]; o se estudian múltiples criterios para dar solución al problema de localización de instalaciones, por la relación que existe entre el número de bodegas o instalaciones, el tiempo de respuesta, los costos y los inventarios [21].

III. MODELO MATEMÁTICO PARA LA UBICACIÓN DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

El modelo matemático propuesto determina la ubicación de instalaciones o Centros de Distribución en los cuales se almacenará y recibirá la mercancía proveniente de los proveedores, y desde donde se enviarán los pedidos a los clientes.

Para esto se tienen en cuenta los principales factores considerados por autores como [22]: la ubicación de los proveedores y de los clientes, la definición de CEDI candidatos, la naturaleza de los productos a distribuir, y el comportamiento de la demanda. La función objetivo minimiza el costo total del diseño: el costo de instalar el(los) Centro(s) de Distribución en un lugar determinado, el costo de operar dichos establecimientos y el costo de transporte.

La formulación matemática se realizó mediante un problema de programación lineal entera binaria, teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

- Se cuenta con varias localizaciones candidatas para ubicar el(los) Centro(s) de Distribución.
- El modelo es estático, para un periodo de planeación de un año y se plantea para empresas con múltiples productos.
- El costo de instalación corresponde al precio de arriendo comercial en las ciudades candidatas.
- Cada producto tiene un único proveedor.
- El costo de transporte está compuesto por el costo de transporte primario (abastecimiento) y el costo de transporte secundario (distribución).
- Se satisface el total de la demanda.

A. Formulación del modelo matemático

Sea i el índice utilizado para identificar los productos, donde $i \in I$; j el índice para hacer referencia a los clientes, donde $j \in J$; y k el índice que identifica a cada una de las ciudades candidatas para la ubicación de CEDI, donde $k \in K$, se definieron las siguientes variables y parámetros:

- D_{ij} : Demanda del producto i para cada cliente j .
- C_{ijk} : Costo de transportar una unidad de producto i , hasta el cliente j desde el CEDI k .
- F_k : Costo fijo de instalación, servicios públicos e impuesto de Industria y Comercio, asociado al CEDI k .
- X_{ijk} : 1 si el producto i que demanda el cliente j se despacha desde el CEDI k ; 0 lo contrario.
- Y_k : 1 si se abre el CEDI k ; 0 lo contrario.
- N : Número de CEDI que serán abiertos.
- M : Parámetro denominado “número muy grande”. $M = i^*j^*k$ aproximadamente.

El modelo matemático formulado en Programación Lineal Entera Binaria se plantea a continuación.

Minimizar:

$$Costo = \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (D_{ij} * \sum_{k \in K} C_{ijk} * X_{ijk}) \right) + \sum_{k \in K} F_k * Y_k$$

Sujeto a:

$$\sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall (i \in I), (j \in J) \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} Y_k = N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq M * Y_k \quad \forall (k \in K) \quad (3)$$

$$X_{ijk} \in [0,1] \text{ Binaria} \quad \forall (i \in I), (j \in J), (k \in K)$$

$$Y_k \in [0,1] \text{ Binaria} \quad \forall (k \in K)$$

Donde (1) garantiza la existencia de una sola ruta para enviar el producto i al cliente j desde el CEDI k ; (2) es la restricción que establece el número de CEDI a instalar; y (3) garantiza que los pedidos sean despachados únicamente desde el(los) k CEDI abierto(s).

De esta manera, la formulación (1)-(3) permite determinar el número de CEDI que minimiza el costo total, su ubicación, y el costo total de la red de distribución.

IV. CASO DE APLICACIÓN – SECTOR TEXTIL EN COLOMBIA

Para la validación del modelo, se seleccionó una comercializadora colombiana del sector textil, por la importancia de este sector para el país. En años anteriores, la

industria textil ha sido objeto de estudio debido a la amplitud de la cadena de suministro y a la flexibilidad de la demanda, lo que la convierte en centro de atención para las investigaciones [23].

Así mismo, el sector textil representa para Colombia más del 12% del PIB industrial, constituye más del 5% del total de exportaciones del país lo que lo convierte en el sector de exportaciones no tradicionales más importante, concentra cerca del 20% de la fuerza laboral generada por la industria manufacturera y cuenta con diversas oportunidades de negocio a nivel internacional [24].

A. Datos de entrada del modelo matemático

La información necesaria para la validación del modelo matemático es la siguiente:

- Listado de productos: Relación de productos a distribuir.
- Clientes o nodos de demanda: Lista de clientes a atender.
- Centros de distribución candidatos: Posibles ubicaciones para los CEDI.
- Ventas: Cantidad vendida para cada producto.
- Costos de transporte: Costo por transportar una unidad de producto.
- Costo de instalación: Costo comercial por el arriendo de bodegas más el costo de los servicios públicos en cada CEDI.
- Costo por impuesto de Industria y Comercio: Gravamen que las industrias, comercializadoras y empresas de servicios deben pagar al gobierno colombiano, por su actividad.

La información utilizada para la validación del modelo matemático corresponde a los datos de un año de operación de la empresa.

B. Proceso de recolección de datos

1. Productos

La complejidad del proceso inició con una base de datos de 4.495 referencias o productos que fueron inicialmente depuradas, según información de mercadeo y estrategias de venta de la empresa. Posteriormente, mediante el Principio de Pareto se determinó que 339 referencias generaban el 90% del volumen de ventas de la compañía; y finalmente, se crearon 97 grupos de productos según características físicas similares de peso y medidas de volumen. ($i = 1, 2, 3, \dots, 97$)

2. Clientes

Para reducir el conjunto de clientes, se agruparon según la cercanía geográfica, los 146 nodos de demanda identificados inicialmente, para obtener un total de 46 *clúster* de clientes distribuidos a lo largo del territorio nacional, como se muestra en la Figura 1.

($j = 1, 2, 3, \dots, 46$)

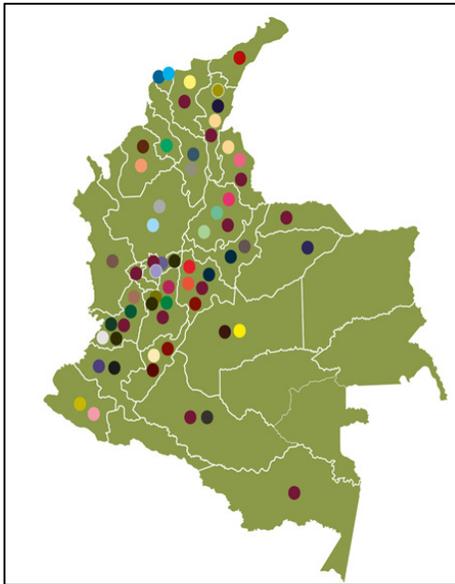


Figura 1. Agrupaciones de clientes

3. Cantidades vendidas de los productos

El proceso de calcular las cantidades de productos a distribuir hacia los nodos de demanda, tuvo un nivel de dificultad significativo debido a la necesidad de expresar estas cantidades en kilogramos. Por lo anterior, fue necesario calcular el peso por metro o unidad, de cada grupo de productos, y posteriormente convertir el volumen de venta anual a kilogramos.

Como resultado se obtuvo la matriz de demanda que relaciona los kilogramos del producto i solicitado por cada clúster de clientes j ; teniendo en cuenta que un cliente puede pedir varios productos. Esta matriz se compone de 97 filas por 46 columnas.

4. Costo de transporte

Para el cálculo del costo de transporte se utilizó información de una transportadora, por tratarse en este caso de una operación logística tercerizada. Se determinó el costo de transportar un kilogramo de producto, entre cada par de nodos (instalaciones candidatas y clúster de clientes), mediante las tarifas ofrecidas por la empresa transportadora encargada. A los productos importados se sumó el costo de traslado desde puertos a instalaciones candidatas, para cada metro o unidad de producto.

Del proceso anterior se obtuvo la matriz del costo de transporte, entre cada CEDI candidato k y los nodos de demanda j , teniendo en cuenta que el costo de transporte primario (abastecimiento) varía dependiendo la naturaleza del productos.

La matriz consta de 4.462^2 filas y 7 columnas (Ver Tabla No. 1), en donde cada celda relaciona el costo de enviar un kilogramo del producto i , al cliente j desde el CEDI k .

	CEDI 1	CEDI 2	...	CEDI k
P1.CLI1	C_{111}	C_{112}	...	C_{11k}
P1.CLI2	C_{121}	C_{122}	...	C_{12k}
...
P1.CLI46	C_{1461}	C_{1462}	...	C_{146k}
P2.CLI1	C_{211}	C_{212}	...	C_{21k}
P2.CLI2	C_{221}	C_{222}	...	C_{22k}
...
Pi.CLIj	C_{ij1}	C_{ij2}	...	C_{ijk}

Tabla No. 1. Matriz de costo de transporte.

5. Costo de instalación

Corresponde al valor que representa la ubicación de un CEDI en cada una de las 7 ciudades candidatas ($k = 1, 2, \dots, 7$), como se muestra en la Figura 2, y se determinó a través del valor comercial por metro cuadrado de instalaciones en arriendo, multiplicado por una capacidad fija instalada.

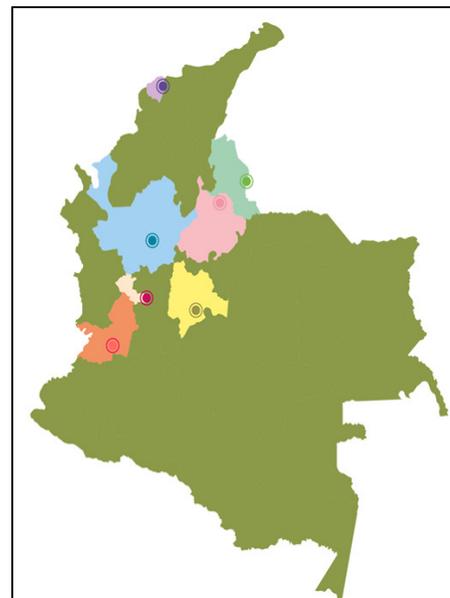


Figura 2. Ciudades candidatas

6. Costo de servicios públicos

Hace referencia al valor promedio para cada servicio público, tomando como referencia el consumo de luz, agua, telefonía e internet, a lo largo de un año. El dato obtenido se expresó como pesos gastados por servicio, por metro cuadrado.

7. Impuesto de Industria y Comercio (ICA)

Teniendo en cuenta que este impuesto se aplica anualmente a las empresas, por cada \$1.000 vendidos y registrados al gobierno, lo primero que se hizo fue calcular la base gravable que representa el volumen (en pesos) vendido en un año.

² Productos * Clientes = 97 * 46 = 4.462.

Luego, se consultó el valor del ICA para cada municipio candidato para instalación de CEDI. El costo tributario se obtiene multiplicando la base gravable por el valor de ICA dividido en 1.000.

8. Costo de mano de obra

Costo incurrido en el personal mínimo necesario para garantizar la operación de un año en un CEDI. Para esto se utilizó información salarial propia de la empresa.

En resumen, el problema de localización de instalaciones abordado en este artículo, se solucionó para 146 nodos específicos de demanda agrupados en 46 *clúster* de clientes; 339 referencias de productos clasificados en 97 grupos; y 7 ubicaciones candidatas. *El tamaño de los parámetros de entrada* al problema evidencia el grado de complejidad del mismo, y la dificultad que representó la abstracción del problema real.

Posteriormente a la recolección y delimitación de los datos obtenidos de la comercializadora de textiles de Colombia, se formuló el modelo matemático en GAMS, se introdujo la información mediante arreglos matriciales y posteriormente se realizaron varias corridas del mismo. Los resultados arrojados por el software se resumen en la siguiente sección.

V. RESULTADOS

Para la validación del modelo matemático se utilizó el solver CPLEX de GAMS. Este software como un compilado de solvers facilita la solución de problemas de optimización y adicionalmente, su lenguaje algebraico de modelado, dada su practicidad y similitud con la formulación matemática tradicional, se convierte en una ventaja para los usuarios.

El resumen de los parámetros contemplados en las instancias o escenarios contemplados para la solución del problema se presentan en la Tabla No. 2.

<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>N</i>
1,2, ..., 97	1,2, ..., 46	1,2, ..., 7	1 o 2

Tabla No. 2. Instancia generada para el problema.

En el análisis de resultados se decidió crear cuatro escenarios diferentes, en los cuales se varió el puerto de ingreso de los productos importados para los orígenes que por su ubicación, pueden ingresar por el Puerto de Cartagena y el Puerto de Buenaventura. Los escenarios en mención se muestran en la Tabla No. 3.

PUERTO DE ENTRADA (Productos Origen 1)	PUERTO DE ENTRADA (Productos Origen 2)
Cartagena	Buenaventura
Cartagena	Cartagena
Buenaventura	Buenaventura
Buenaventura	Cartagena

Tabla No. 3. Escenarios

Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio, permitieron que la empresa también conociera el puerto de mayor conveniencia para la importación de los productos, además de la ubicación de los CEDIS, y su costo logístico total. Lo cual, en conjunto, fue una completa herramienta para la toma de decisiones estratégicas y gerenciales de la compañía.

Las corridas del modelo se evaluaron para la localización final de 1 y 2 Centros de Distribución, entre las 7 ubicaciones candidatas. Se calculó el costo total de la red de distribución, por ubicar un CEDI en cada ciudad candidata y sus respectivas combinaciones para el caso de dos.

Los escenarios de menor costo total, para los casos de 1 y 2 Centros de Distribución, se muestran a continuación en la Tabla No. 4 y Tabla No. 5 respectivamente. La información resalta los mejores puertos para el ingreso de los productos importados según su origen, la ciudad definida como mejor opción, y el costo total de la red de distribución para cada caso.

Las soluciones óptimas del problema, para la ubicación de uno y dos CEDI son Candelaria y, Floridablanca y Palmira respectivamente. Además, gracias a la investigación realizada, se logró identificar que para esta empresa el puerto más económico para el ingreso de productos importados al país es el Puerto de Buenaventura.

Puerto Origen 1	Puerto Origen 2	Mejor Ubicación	Costo Mejor Ubicación
C/gena	B/tura	Candelaria	\$ 2,749
C/gena	C/gena	Malambo	\$ 2,698
B/tura	B/tura	Candelaria	\$ 2,556
B/tura	C/gena	Caldas	\$ 2,837

* Datos en millones COP

Tabla No. 4. Resultados para un CEDI

Puerto Origen 1	Puerto Origen 2	Mejores Ubicaciones	Costo Mejores Ubicaciones
C/gena	B/tura	Floridablanca y Palmira	\$ 3,111
C/gena	C/gena	Malambo y Floridablanca	\$ 3,111
B/tura	B/tura	Floridablanca y Palmira	\$ 2,994
B/tura	C/gena	Malambo y Palmira	\$ 3,182

*Datos en millones COP

Tabla No. 5. Resultados para dos CEDI

En consecuencia, para el volumen de ventas de la empresa y seleccionando la opción de menor costo, la propuesta para la red de distribución de la comercializadora es la ubicación de un Centro de Distribución en Candelaria – Valle del Cauca, desde donde se despacharán todos los pedidos a los clientes. Esta ubicación representa un ahorro de un poco más del 29% en comparación con el costo logístico total de la red de distribución actual (\$ 3,607 millones COP).

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se solucionó el problema de localización de instalaciones para un contexto real, formulado como un problema en Programación Lineal Entera Binaria.

Se determinó la solución óptima para la ubicación de uno y dos Centros de Distribución, teniendo en cuenta las restricciones de instalación y distribución de productos para los clientes. Adicionalmente se incluyó el análisis del puerto de ingreso de los productos importados de la empresa, lo cual evidenció que el puerto más económico para esta compañía es el de Buenaventura. Esta herramienta brinda una visión más clara a la comercializadora de textiles para su política de abastecimiento, y se convierte en una importante herramienta para la toma de decisiones estratégicas.

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con el costo de la red de distribución actual de la empresa, se evidencia un ahorro significativo en el costo logístico total de la red de distribución por un poco más del 29%. Además, la consideración de las exenciones al Impuesto de Industria y Comercio para la localización de los Centros de Distribución en las ciudades candidatas, permite concluir que el costo tributario juega un papel importante en la decisión de ubicación de instalaciones en el país.

Finalmente se destaca la importancia del uso de la Investigación de Operaciones para la toma de decisiones en el sector empresarial de un país, ya que según nuestro conocimiento, este tipo de estudios demuestran que la academia cuenta con herramientas lo suficientemente robustas y viables, para su aplicación en las empresas y optimización de sus procesos.

VII. REFERENCIAS

- [1]. Klose, and A. Drexel, "Facility location models for distribution system design," *European Journal of Operational Research*, vol. 162(1), pp. 4–29, 2004.
- [2]. B. M. Beamon, "Supply chain design and analysis: Models and methods," *International Journal of Production Economics*, vol. 55, pp. 281–291, 1998.
- [3]. C. H. Aikens, "Facility location models for distribution planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 22(3), pp. 263–279, 1985.
- [4]. D. J. Thomas, and P. M. Griffin, "Coordinated supply chain management," *European Journal of Operational Research*, vol. 94(1), pp. 1–15, 1996.
- [5]. C. J. Vidal, and M. Goetschalckx, "Strategic production–distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models," *European Journal of Operational Research*, vol. 98(1), pp. 1–18, 1997.
- [6]. G. Sahin, and H. Sural, "A review of hierarchical facility location models," *Comput Oper Res*, vol. 34(8), pp. 2310–2331, 2007.
- [7]. M. T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama, "Facility location and supply chain management – A review," *European Journal of Operational Research*, vol. 196, pp. 401 – 412, 2009.
- [8]. S. Chopra, and P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*, Second Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.
- [9]. E. Olivares, J. L. González, and R. Z. Ríos, "A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices," *TOP*, vol. 20(3), pp. 729–753, 2010.
- [10]. J. F. Williams, "Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: Theory and empirical comparisons," *Management Science*, vol. 27(3), pp. 336 – 352, 1981.
- [11]. J. E. Hodder, and J. V. Jucker, "Plant location modeling of the multinational firm," presented at the International Business Conference on the Asia-Pacific Dimension of International Business, Honolulu, Hawaii, 1982.
- [12]. J. E. Hodder, and J. V. Jucker, "International plant location under price and exchange rate uncertainty," *Engineering Costs and Production Economics*, vol. 9, pp. 225–229, 1985.
- [13]. K. Ishii, K. Takahashi, and R. Muramatsu, "Integrated production, inventory and distribution systems," *International Journal of Production Research*, vol. 26(3), pp. 473 – 482, 1988.
- [14]. B. C. Arntzen, G. G. Brown, T. P. Harrison, and L. L. Trafton, "Global supply chain management at digital equipment corporation," *Interfaces*, vol. 25, pp. 69–93, 1995.
- [15]. D. B. Rosenfield, "Global and variable cost manufacturing systems," *European Journal of Operational Research*, vol. 95, pp. 325–343, 1996.
- [16]. C. J. Vidal, and M. Goetschalckx, "A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation," *European Journal of Operational Research*, vol. 129, pp. 134–158, 2001.
- [17]. G. C. Hadjinicola, and K. R. Kumar, "Modeling manufacturing and marketing options in international operations," *International Journal of Production Economics*, vol. 75, pp. 287–304, 2002.
- [18]. S. C. Graves, and S. P. Willems, "Optimizing the supply chain configuration for new products," *Manag Sci*, vol. 51(8), pp. 1165–1180, 2005.
- [19]. F. Altıparmak, M. Gen, L. Lin, and T. Paksoy, "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 51(1), pp. 196–215, 2006.
- [20]. H. A. ElMaraghy, and R. Majety, "Integrated supply chain design using multi-criteria optimization," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 37(3), pp. 371–399, 2008.
- [21]. R. Z. Farahani, M. SteadieSeifi, and N. Asgari, "Multiple criteria facility location problems: a

- survey,” *Appl Math Modell*, vol. 34(7), pp. 1689–1709, 2009.
- [22]. M. Sevkli, and A. R. Guner, “A continuous particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4150, pp. 316-323, 2006.
- [23]. K. Ka-Leung Moon, C. Ying Yi, and E. W. T. Ngai, “An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies,” *European Journal of Operational Research*, vol. 222, pp. 191-203, 2012.
- [24]. Proexport Colombia. (2012). Sector textil y confección. [Online]. Available: http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfi1%20textil%20y%20confecci%C3%B3n_2012.pdf