

Diseño de una red de distribución de productos perecederos teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad

Design of a distribution network perishables, taking into account sustainability criteria

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: MAYO 9, 2016; ACEPTADO: JUNIO 20, 2016

Andrés Mauricio Paredes
andres.paredes@correounivalle.edu.co

Kelly Andrea Peláez
kelly.pelaez@correounivalle.edu.co

Diana Rocío Alarcón
diana.alarcon@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle, Buga-Colombia

Resumen

En la actualidad, la competencia entre cadenas de suministro ha generado que día a día se busque una mayor eficiencia en el diseño de las redes de distribución, ya que esta es una decisión estratégica a largo plazo, pero que a su vez afecta la planeación táctica y operativa al determinar los flujos de financieros, de producto e información que existen entre los agentes de la cadena. El presente artículo busca diseñar una red de distribución de productos perecederos teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad relacionados con la economía, el medio ambiente y la sociedad. Con este fin se desarrolla un modelo de programación lineal entera mixta, el cual se simula para un caso de estudio teórico, logrando identificar que el bosquejo final de la cadena depende de los criterios que se elijan y de la ponderación que los miembros del sistema le otorguen a cada uno de ellos.

Palabras Clave

Sostenibilidad; red de distribución; programación lineal; productos perecederos; localización.

Abstract

Nowadays, the competition between supply chains has meant that every day is sought greater efficiency in the design of distribution networks, as this is a strategic decision in the long term, but that in turn affects the tactical planning and operative to determine the flows of financial, product and information between the actors in the chain. This article seeks to design a distribution network of perishable products taking into account sustainability criteria related to the economy, environment and society. To this end a model of mixed integer linear programming, which is simulated for a case of theoretical study, achieving identify the final draft of the chain depends on the criteria chosen and the weighting develops that members of the system will give to each of these.

Keywords

Sustainability; distribution network; linear programming; perishables; location.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, debido a que la empresa no se considera un ente cerrado sino un sistema abierto, las empresas se han visto en la necesidad de integrar toda la cadena de valor del producto, desde el abastecimiento de la materia prima, hasta la adquisición por parte del cliente final (Croom, Romano, & Giannakis, 2000; Jack & Raturi, 2002), lo que ha provocado que la competencia sea entre cadenas de suministro; por tal motivo, el diseño de redes de distribución se convierte en un factor determinante a la hora de obtener ventajas competitivas en un entorno saturado de incertidumbre y riesgo.

El diseño o rediseño de una cadena de suministro implica un alto grado de complejidad debido a que se trata de una decisión estratégica costosa e irreversible a largo plazo (Lemmens, Decouttere, Vandaele, & Bernuzzi, 2016). Sin embargo, una buena localización de los agentes dentro de la red de distribución permite lograr un mayor nivel de servicio al cliente, a la vez que se reducen costos asociados a distancia y tiempos de operación (Ardalan, Karimi, Naderi, & Khamseh, 2016).

El desarrollo sostenible se puede considerar como la habilidad para cubrir las necesidades del presente sin comprometer los recursos del futuro. En la actualidad, los miembros de la cadena de suministro buscan contribuir a un equilibrio sostenible, teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales y sociales, así como sus interrelaciones dentro y a lo largo de la dimensión del tiempo –corto, mediano y largo plazo– (Rimppi, Uusitalo, Väisänen, & Soukka, 2016).

A continuación se exhiben algunos estudios sobre diseño de redes de distribución, en los que se tienen en cuenta, tanto criterios económicos –costo y rentabilidad–, como ambientales –emisiones de carbono, consumo de combustible, energía–, y sociales –tasas de desempleo, desarrollo económico–.

Subulan, Baykasoğlu, Özsoydan, Taşan, y Selim (2015) proponen el diseño de una red de cadena de suministro de ciclo cerrado basada en un modelo de programación entera mixta multi-objetivo, considerando riesgos financieros y de recaudación. En el modelo se integran medidas de riesgo tales como el “índice de variabilidad”, el “riesgo a la baja” y el “valor en riesgo condicional”.

Mousazadeh, Torabi, y Zahiri (2015) desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta bi-objetivo [*Mixer Integer Linear Programming*, MILP] para un problema

de diseño de redes de cadena de suministro farmacéutica. El modelo ayuda a tomar varias decisiones sobre cuestiones estratégicas tales como la apertura de los centros de fabricación de productos farmacéuticos y los centros de distribución, teniendo en cuenta que el material óptimo fluye sobre un horizonte de planificación a mediano plazo. Su objetivo es minimizar al mismo tiempo los costos totales y las demandas insatisfechas.

Yi, Huang, Guo, y Shi (2016) desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta que incorpora la red logística inversa en la red logística de avanzada. Mediante la realización de un estudio de caso de la vida real en una empresa de maquinaria de refabricación de construcción en China, la investigación de los autores confirma que el modelo propuesto puede determinar correctamente la ubicación de los diferentes tipos de centros de función y gestionar los flujos de productos de segunda mano, diversos componentes y productos remanufacturados. Además, la influencia de la relación de recogida y la capacidad de las instalaciones se explora minuciosamente, para dar ideas de gestión a las empresas sobre las futuras estrategias que logran prácticas amigables con el ambiente

Zhang, Lee, y Zhang (2016) elaboran un modelo de programación entera mixta no lineal [*Mixer Integer NonLinear Programming*, MINLP] para diseñar cadenas de suministro. En vista de las limitaciones de muchos modelos estratégicos disponibles de diseño de la cadena de suministros, este modelo implica tres etapas principales incluyendo las adquisiciones, la producción y la distribución, y sus interacciones, y toma en cuenta las limitaciones de la lista de materiales para el modelado de las complejas interrelaciones de la red de distribución. Además, el modelo se desarrolla para varias familias de productos con el objetivo de responder a las diversas necesidades de los clientes.

Coskun, Ozgur, Polat, y Gungor (2016) diseñan una cadena de suministro verde basada en las expectativas de los consumidores. El modelo de programación lineal desarrollado se aplica a un problema de la vida real con el objetivo de ofrecer una visión sobre cómo el nivel de determinación de los consumidores afecta a la red de suministro verde. Los resultados del estudio presentan una forma de medir las relaciones entre las cadenas de suministro verdes y el comportamiento del consumidor.

Varsei y Polyakovskiy (2016) investigan la cadena de suministro de vino y proponen un modelo genérico para el

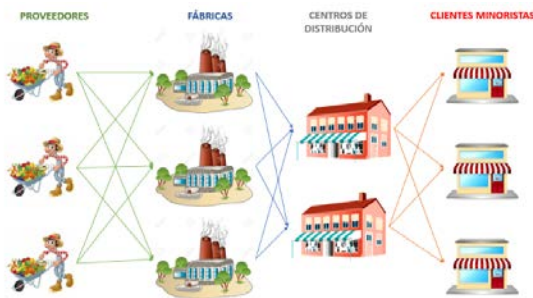
diseño de redes de cadena de suministro sostenible de vino que abarca los objetivos económicos, ambientales y sociales. Es un caso verdadero de una gran empresa de vinos ubicada en Australia, para la cual se proporciona un modelo personalizado. Ambos modelos se formulan como un modelo de programación lineal entero mixto multi-objetivo. Los autores logran demostrar qué tan grande es la brecha entre la configuración de la cadena de suministro existente y los escenarios sostenibles propuestos

La intención del presente documento es diseñar una red de distribución de productos perecederos integrando criterios económicos, ambientales y sociales debido a la poca investigación que incorpora las tres medidas de sostenibilidad en los modelos de análisis de la cadena de suministro (Varsei & Polyakovskiy, 2016). El artículo se presenta de la siguiente manera: en la sección 2 se describe el caso de estudio y a partir de él se presenta el modelo de programación lineal basado en criterios de sostenibilidad; en la sección 3 se presentan los resultados de la simulación del modelo; y en la sección 4 las conclusiones de la investigación.

II. METODOLOGÍA

La cadena de suministro a ser definida consta de cuatro eslabones: los proveedores de materia prima, las plantas de producción, los centros de distribución y los clientes minoristas (ver figura 1).

Figura 1. Bosquejo del esquema general de la red de distribución



Para el diseño final de la red se recurrirá a un modelo de optimización, con el fin de crear aquel canal que permita: utilizar los recursos disponibles de la mejor manera, realizar la distribución adecuada de las diferentes plantas de producción y centros de distribución a lo largo y ancho del país, garantizando la menor cantidad de costos posibles; y, a su vez, generar el menor impacto ambiental y social sobre la comunidad. Con este objeto se exhibirán tres funciones objetivo, las cuales buscan cumplir criterios económicos, ambientales y sociales. En las Tablas 1 a 3, se

presentan los conjuntos, parámetros y variables del modelo de programación lineal entera mixta utilizado para encontrar la red óptima de distribución, y a continuación las funciones objetivo y sus restricciones.

Tabla 1. Conjuntos

| Conjuntos | Descripción |
|-------------------------|------------------|
| Proveedores | $P \{i... I\}$. |
| Fábricas | $F \{j... J\}$. |
| Centros de Distribución | $CD \{k...K\}$. |
| Clientes | $C \{l...L\}$. |
| Meses | $M \{t...T\}$. |
| Materia Prima | $MP \{m...M\}$. |
| Producto Terminado | $PT \{n...N\}$. |

Tabla 2. Parámetros

| Parámetro | Descripción |
|---------------------------|--|
| $Costocomp_m$ | Costo de compra de la materia prima m. |
| $Capproveedor_{im}$ | Capacidad mensual de producción de materia prima m del proveedor i. |
| $Costoprod_{jn}$ | Costo de elaboración del producto final n en fábrica j. |
| $Capfab_{jm}$ | Capacidad de máxima mensual de transformación de la materia prima m en la fábrica j. |
| $Costosfijosfab_j$ | Costos fijos anuales de la fábrica j. |
| $Comp_{mn}$ | Cantidad de materia prima m necesaria para producir una unidad de producto final n. |
| $CostosfijosCD_k$ | Costos fijos anuales del centro de distribución k. |
| $Costoalm_{kn}$ | Costo de almacenamiento mensual del producto final n en el centro de distribución k. |
| F | Factor de desperdicio de la materia prima. |
| $Capalm_{kn}$ | Capacidad de almacenamiento mensual del producto final n en el centro de distribución k. |
| $Dmin_{nl}$ | Demanda mínima mensual del producto n por parte del cliente l. |
| $Dmax_{nl}$ | Demanda máxima mensual del producto n por parte del cliente l. |
| PV_n | Precio de venta del producto n. |
| Io_{kn} | Inventario inicial del producto n en el centro de distribución k. |
| $Costotranspprovfab_{ij}$ | Costo de transporte de producto del proveedor i a la fábrica j. |
| $Costotranspfabcd_{jk}$ | Costo de transporte de producto de la fábrica j al centro de distribución k. |
| $Costotranspcdclien_{kl}$ | Costo de transporte de producto del centro de distribución k al cliente l. |
| $DistA_{ij}$ | Distancia del proveedor i a la fábrica j (km). |
| $DistB_{jk}$ | Distancia de fábrica j a centro de distribución k (Km). |
| $DistC_{kl}$ | Distancia del centro de distribución k al cliente l (Km). |
| $EmCO2$ | emisiones de CO ₂ por Km: 175,74Kg/Km. |
| $EmPP$ | Emisiones de CO ₂ generadas por la construcción de una planta de producción (\$/año). |
| $Capcam$ | Capacidad del camión (Kg). |
| TD_j | Tasa de desempleo de donde se ubicará la fábrica j. |
| TDS_k | Tasa de desempleo donde será ubicado el centro de |

| distribución k. | |
|--------------------|--|
| Tabla 3. Variables | |
| Variable | Descripción |
| U_{imt} | Cantidad de materia prima m comprada al proveedor i en el mes t. |
| X_{ijmt} | Cantidad de materia prima m transportada del proveedor i a la fábrica j en el mes t. |
| Y_{jknt} | Cantidad de producto final n transportado de la fábrica j al centro de distribución k en el mes t. |
| Z_{klnt} | Cantidad de producto final n transportado del centro de distribución k al cliente l en el mes t. |
| I_{knt} | Cantidad de producto final n almacenado en el centro de distribución k en el mes t. |
| W_j | 1 si la fabrica j está abierta, 0 en caso contrario. |
| V_k | 1 si el centro de distribución k es abierto, 0 en caso contrario. |

Funciones objetivo

Con el fin de tener en cuenta atributos de sostenibilidad se diseñan tres funciones objetivo; cada una de ellas responde a criterios distintos: la primera busca reducir costos y de esta forma maximizar la utilidad; la segunda intenta aminorar las emisiones de carbono generadas por los camiones y las plantas de producción; y la tercera trata de minimizar el desempleo en las zonas en que se localizaría cada uno de los agentes de la cadena. A continuación, se presenta la formulación del modelo. Las Ecuaciones 1 a 3 corresponden a las funciones y las Ecuaciones 4 a 15 a sus restricciones.

Ecuación 1. Función económica

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } Z = & \\ & \sum_k \sum_l \sum_n \sum_t PV_n * Z_{klnt} - \\ & \sum_i \sum_j \sum_m \sum_t \text{Costotranspprovfab}_{ij} * X_{ijmt} - \\ & \sum_j \sum_k \sum_n \sum_t \text{Costotranspfab}_{jk} * Y_{jknt} - \\ & \sum_k \sum_l \sum_n \sum_t \text{Costotranspcdclien}_{kl} * Z_{klnt} - \\ & \sum_i \sum_m \sum_t \text{Costocomp}_m * U_{imt} - \sum_j \sum_k \sum_n \sum_t \text{Costoprod}_{jn} * \\ & Y_{jknt} - \sum_k \sum_n \sum_t \text{Costoalm}_{kn} * I_{knt} - \sum_j \text{Costosfijosfab}_j * \\ & W_j - \sum_k \text{CostosfijosCD}_k * V_k \end{aligned}$$

La función objetivo que hace referencia a la parte económica, consiste en maximizar la utilidad anual a ser obtenida por la compañía gracias a la venta de cada uno de sus productos, teniendo en cuenta los costos logísticos de apertura de instalaciones y los gastos en los que se incurre a la hora de llevar el producto, desde la fábrica hasta el cliente minorista.

Ecuación 2. Función ambiental

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & \text{EmCO}_2 * (\sum_i \sum_j \text{DistA}_{ij} * (X_{ijmt} / \text{Capcam}) \\ & + \sum_j \sum_k \text{DistB}_{jk} * (Y_{jknt} / \text{Capcam}) + \sum_k \sum_l \text{DistC}_{kl} * \\ & (Z_{klnt} / \text{Capcam})) + \text{EmPP} * \sum_j W_j \end{aligned}$$

La función objetivo ambiental consiste en disminuir las emisiones de carbono de los camiones al realizar sus

recorridos entre las instalaciones; además, tiene en cuenta los gases emitidos a la atmósfera por las plantas de producción a ser construidas.

Ecuación 3. Función social

$$\text{Minimizar } Z = \sum_j TD_j * W_j + \sum_k TDS_k * V_k$$

La función objetivo referente al componente social busca minimizar la tasa de desempleo de la ciudad donde se instalarán las plantas y los centros de distribución.

Restricciones

Ecuación 4. Restricción 1

$$X_{ijmt} = U_{imt}(1 - F) \forall i, j, m, t$$

La restricción 1 asegura que la cantidad transportada a la fábrica en cada uno de los meses se vea afectada por un factor de deterioro asociado a la fruta fresca, ya que solo una parte de la materia prima comprada llega en buenas condiciones a la planta de producción.

Ecuación 5. Restricción 2

$$U_{imt} \leq \text{Capproveedor}_{im} \forall i, m, t$$

La restricción 2 obliga a que la cantidad de materia prima comprada a cada uno de los proveedores sea menor a la capacidad de producción de frutas frescas que estos poseen, siempre y cuando se abra la fábrica.

Ecuación 6. Restricción 3

$$\sum_t X_{ijmt} \leq \text{Capfab}_{jm} * W_j \forall j, m, t$$

La restricción 3 busca cumplir el hecho de que la cantidad que llega a las plantas de producción no puede superar la capacidad que estas tienen para procesar materia prima. No se considera almacenamiento dentro de la fábrica, por lo que no puede llegar más fruta fresca de lo que realmente se puede procesar en el mes.

Ecuación 7. Restricción 4

$$\sum_t \sum_m X_{ijmt} * \text{Comp}_{mn} = Y_{jknt} \forall j, k, n, t$$

La restricción 4 asegura que la cantidad de producto final a salir de la planta de producción está relacionada con la cantidad de materia prima que ingresó a esta y con los porcentajes que se utilizaron para la obtención del producto final

Ecuación 8. Restricción 5

$$I_{1kn} = I_{0kn} + \sum_j Y_{jkn1} - \sum_l Z_{kln1} \forall k, n$$

La restricción 5 exhibe el comportamiento del inventario en el primer mes para cada uno de los centros de distribución, el cual se encuentra definido por el inventario inicial de producto final, más lo que llega de la planta de producción, menos lo que se les entrega a los clientes minoristas.

Ecuación 9. Restricción 6

$$I_{knt} = I_{kn(t-1)} + \sum_j Y_{jknt} - \sum_l Z_{klnt} \forall k, n, t$$

La restricción 6 representa el juego de inventarios, partiendo de los inventarios finales de periodos anteriores, adicionando las entradas de producto final y disminuyendo las salidas de producto hacia el cliente minorista

Ecuación 10. Restricción 7

$$I_{knt} \leq Capalm_{kn} \forall k, n, t$$

La restricción 7 busca evitar que el inventario de cada producto exceda la capacidad de almacenamiento de los centros de distribución

Ecuación 11. Restricción 8

$$\sum_k Z_{klnt} \geq Dmin_{nl} \forall n, l, t$$

Ecuación 12. Restricción 9

$$\sum_k Z_{klnt} \leq Dmax_{nl} \forall n, l, t$$

Las restricciones 8 y 9 aseguran que la cantidad al cliente minorista cumpla con una demanda mínima, y a la vez que estos envíos no sean mayores a una demanda máxima establecida.

Ecuación 13. Restricción 10

$$\sum_k V_k \geq 3 \forall n, l, t$$

La restricción 10 obliga a que por lo menos se abran tres centros de distribución a nivel nacional, esto con el objetivo de abarcar la mayor proporción de demanda.

Ecuación 14. Restricción 11

$$U_{imt}, X_{ijmt}, Y_{jkt}, Z_{klnt}, I_{knt} \geq 0$$

Ecuación 15. Restricción 12

$$W_j, V_k \in \{0, 1\}$$

Las restricciones 11 y 12 evitan que las variables continuas tomen valores negativos. Además, establecen que las variables binarias solo pueden tomar valores entre 0 y 1.

III. RESULTADOS

Para la simulación del modelo se utilizó un caso de estudio teórico basado en los siguientes supuestos:

- La red de distribución es multi-producto pues se transportan materias primas desde los proveedores hacia las plantas de producción, donde las convierten en un producto final que se envía a los centros de distribución y a los clientes minoristas.
- La cadena de suministro tiene cuatro eslabones: proveedores, fábricas, centros de distribución y clientes minoristas; la herramienta busca seleccionar cuáles de las seis fábricas y los siete centros de distribución disponibles deben ser abiertos para asegurar la sostenibilidad de la red.
- Se considera un modelo multi-periodo, donde se deben tomar decisiones de cuánto comprar, almacenar, fabricar y transportar, de cada uno de los productos que compone la cadena. El horizonte de tiempo simulado fue de un año.
- El modelo considera los factores de desperdicio inherentes a los productos perecederos, por lo cual, lo que ingresa a la planta de producción en términos de materia prima, no es igual al producto terminado que sale de ella.

El modelo fue planteado y resuelto en AMPL. En las Tablas 4 y 5 se resumen los principales resultados de los tres escenarios simulados:

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir del modelo planteado

| Fábricas | Modelo económico | Modelo ambiental | Modelo social |
|----------|------------------|------------------|---------------|
| 1 | X | X | X |
| 2 | X | X | X |
| 3 | X | X | X |
| 4 | X | X | X |
| 5 | X | X | X |
| 6 | X | X | X |

Tabla 5. Resultados obtenidos a partir del modelo planteado

| Centros de distribución | Modelo económico | Modelo ambiental | Modelo social |
|-------------------------|------------------|------------------|---------------|
| 1 | X | X | X |
| 2 | X | X | X |
| 3 | X | X | X |
| 4 | | X | X |
| 5 | | X | X |
| 6 | | X | X |
| 7 | | X | X |

Se observa cómo la solución con el criterio económico decide abrir todas las fábricas para cumplir con el mayor porcentaje de demanda y de esta forma incrementar la rentabilidad de la cadena; además se apertura solo tres centros de distribución para distribuir el producto en toda la red, con el objeto de reducir costos fijos asociados a las bodegas y gastos de transporte de mercancía.

Por el contrario, la solución ambiental abre todas las fábricas y los centros de distribución con el propósito de reducir los recorridos de los camiones y de esta forma mitigar el impacto de las emisiones de carbono sobre la atmósfera terrestre. Asimismo, el modelo con la función social arroja como resultado una red que decide abrir todas las plantas de producción y bodegas, con el objeto de reducir en mayor porcentaje de desempleo en las áreas de mayor influencia.

Se puede notar en los resultados expuestos en las Tablas 4 y 5 cómo la solución para dos de los tres criterios es la misma, por lo que se puede concluir que esta propuesta es la que logra una cadena de suministro sostenible.

Cabe aclarar que se parte del supuesto de que cada uno de los criterios tiene el mismo peso, en caso de no ser así, se deberá analizar qué atributos son más importantes para los agentes de la red de distribución.

IV. CONCLUSIONES

El modelo de programación desarrollado logra obtener un diseño que cumple con dos de los tres criterios de sostenibilidad planteados por los autores, este consiste en abrir todas las fábricas y centros de distribución disponibles con el objetivo de disminuir las emisiones de carbono generadas por los camiones y a su vez aumentar el empleo y el desarrollo económico de la región. Cabe aclarar que esta propuesta disminuye la rentabilidad esperada de los agentes de la red de distribución.

A la hora de diseñar una red de distribución sostenible

se deben tener en cuenta qué criterios se van a elegir y qué ponderación se le otorgará a cada uno de ellos, ya que de esta elección depende el bosquejo definitivo de la cadena de suministro. Con esta investigación se deja abierta la posibilidad de una futura investigación —o mejoramiento— en torno a la aplicación de la herramienta a un caso de estudio real.

REFERENCIAS

- Ardalan, Z., Karimi, S., Naderi, B., & Khamseh, A. (2016). Supply chain networks design with multi-mode demand satisfaction policy. *Computers & Industrial Engineering*, 96, 108-117. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.006>
- Coskun, S., Ozgur, L., Polat, O., & Gungor, A. (2016). A model proposal for green supply chain network design based on consumer segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 110, 149-157. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.063>
- Croom, S., Romano, P., & Giannakis, M. (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6(1), 67-83. [http://doi.org/10.1016/S0969-7012\(99\)00030-1](http://doi.org/10.1016/S0969-7012(99)00030-1)
- Jack, P. & Raturi, A. (2002). Sources of volume flexibility and their impact on performance. *Journal of Operations Management*, 20(5), 519-548. [http://doi.org/10.1016/S0272-6963\(01\)00079-1](http://doi.org/10.1016/S0272-6963(01)00079-1)
- Lemmens, S., Decouttere, C., Vandaele, N., & Bernuzzi, M. (2016). A review of integrated supply chain network design models: key issues for vaccine supply chains. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 366-384. <http://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.015>
- Mousazadeh, M., Torabi, A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers and Chemical Engineering*, 82, 115-128. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.06.008>
- Rimppi, H., Uusitalo, V., Väisänen, S., & Soukka, R. (2016). Sustainability criteria and indicators of bioenergy systems from steering, research and Finnish bioenergy business operators' perspectives. *Ecological Indicators*, 66, 357-368. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.005>
- Subulan, K., Baykasoğlu, A., Özsoydan, B., Taşan, S., & Selim, H. (2015). A case-oriented approach to a lead/acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 340-361. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.07.013>
- Varsei, M. & Polyakovskiy, S. (2016). Sustainable supply chain network design : a case of the wine industry in Australia. [In press]. *Omega*, <http://doi.org/10.1016/j.omega.2015.11.009>
- Yi, P., Huang, M., Guo, L., & Shi, T. (2016). A retailer oriented closed-loop supply chain network design for end of life construction machinery remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 124, 191-203. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.070>
- Zhang, L., Lee, C., & Zhang, S. (2016). An integrated model for strategic supply chain design : Formulation and ABC-based solution approach. *Expert Systems with Applications*, 52, 39-49. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.12.035>

CURRÍCULOS

Andrés Mauricio Paredes Rodríguez. Recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle (Guadalajara de Buga, Colombia). Pertenece a los grupos de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y GIMAST de la Universidad del Valle. Sus áreas de interés en investigación incluyen la simulación, optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos. ORCID: 0000-0001-9196-9965

Kelly Andrea Peláez Mejía. Recibirá el título de Ingeniera Industrial en 2016 de la Universidad del Valle (Guadalajara de Buga, Colombia). Pertenece a los grupos de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y GIMAST de la Universidad del Valle. Sus áreas de interés en investigación incluyen la optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos, y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial. ORCID: 0000-0002-6495-5848.

Diana Rocío Alarcón Grisales. Recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle (Guadalajara de Buga, Colombia). Sus áreas de interés en investigación incluyen la simulación, optimización y modelado de sistemas.