



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados,

Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Título de la tesis

Selección de Proveedores en un Problema de Localización-Inventario
para una Cadena de Suministro de Tres Niveles

Tesis que para obtener el Grado de Doctor
en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta

Aaron Guerrero Campanur

Puebla, México.

Junio 2013



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

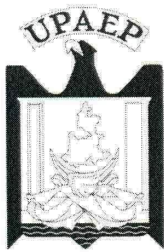
DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados,

Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Se aprueba la Tesis:

Selección de Proveedores en un Problema de Localización-Inventario
para una Cadena de Suministro de Tres Niveles

Comité de Revisión.



Dr. Elías Olivares Benítez

Director



Dr. Pablo A. Miranda González

Dr. José Luis Martínez Flores

Asesor

Asesor

Puebla, México.

Junio 2013

AGRADECIMIENTOS.

A todas las personas que apoyaron e hicieron posible la realización de este proyecto, pero muy especialmente:

A mi familia.

A mis asesores el Dr. Elías Olivares Benítez UPAEP y Dr. Pablo A. Miranda González PUCV por su importante respaldo y participación intelectual dentro del proyecto. Al Dr. José Luis Martínez Flores Coordinador del Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro UPAEP.

Y al Instituto Tecnológico Superior de Uruapan ITSU en conjunto con el Programa de Mejoramiento del Profesorado PROMEP.

Esta investigación fue apoyada por el Programa para el Mejoramiento del Profesorado PROMEP. Folio: ITESUR-001 Oficio No. PROMEP/103.5/10/5709.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	4
Antecedentes	4
Justificación del Problema	4
Hipótesis	5
Objetivo General	5
Metodología	5
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE CADENA DE SUMINISTRO BI-OBJETIVO DE LOCALIZACIÓN-INVENTARIO Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES BAJO UN AMBIENTE DE INTEGRACIÓN DE RIESGO.	6
Introducción	7
Revisión de literatura	7
Planteamiento del problema	8
Efectividad global del equipo OEE	9
Política de control de inventario y costo económico de pedido	10
Formulación del modelo	11
Modelo bi-objetivo no lineal entero mixto DCSIR-NL	11
Linealización de restricciones DCSIR-PL	13
Linealización a tramos de la función objetivo Z1 DCSIR-L	14
Enfoque de solución bi-objetivo	15
Experimentación y resultados	16
Conclusiones y trabajos a futuro	18
Referencias	19
CAPÍTULO 3: SUPPLIER SELECTION IN AN INVENTORY LOCATION PROBLEM FOR A THREE-LEVEL SUPPLY CHAIN.	20
Introduction	21
Context and problem description	21
Literature review	22
Paper description and structure	23
Problem description and modeling structure	24

Distribution network design	24
Overall Equipment Effectiveness OEE in supplier-plant stage	25
Continuous Review based Inventory Control Policy (q, RP)	25
Bi-Objective problem formulation	27
Notation and definitions	27
Non-linear formulation for SS-ILPSC	28
Linear reformulation of constraints	29
Linear approximation of objective function	30
Experimentation and results	31
Bi-objective solution approach	31
Instance definitions and description	32
Computational results	32
Comparison metrics	32
Results model evaluation	33
Conclusions and final remarks	35
Summary of contributions	35
Results and conclusions	35
Limitations and future research	35
Acknowledgements	36
References	36
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

Antecedentes

La Gestión de la Cadena de Suministro se define como el diseño, planificación, ejecución, control y seguimiento de las actividades de la cadena de suministro. El objetivo de la gestión es maximizar el margen de beneficio total, generar una infraestructura competitiva y crear un equilibrio entre la oferta y la demanda. Por lo general, la Gestión de la Cadena de Suministro trata varios problemas de diferente nivel jerárquicos. La literatura estándar sobre Gestión de la Cadena de Suministro clasifica los problemas en tres niveles jerárquicos: estratégicos (a largo plazo), tácticos (a medio plazo) y operacionales (a corto plazo). En contraste con la orientación propuesta en esta investigación, estos problemas se resuelven típicamente bajo un enfoque secuencial. En primer lugar, la alta dirección toma las decisiones estratégicas, y los administradores de nivel inferior las decisiones tácticas / operativas. Esta circunstancia tiende a generar incompatibilidades entre cada nivel de la cadena de suministro, como se discute en Coyle et al. (1992), Mourits y Evers (1995), Nozick LK, Turnquist MA (1998), Chopra S., Meindl P. (2001), Shen Z.-JM et al. (2003), Simji-Levi et al. (2003), Miranda P., Garrido R. (2004), y otras investigaciones relacionadas. Por ejemplo, en un problema de Diseño de Red de Distribución las decisiones estratégicas son tomadas en primera instancia y posteriormente las decisiones tácticas y operacionales son incorporadas, lo que resulta en un grado de suboptimización. Actualmente dentro de la Gestión de la Cadena de Suministro, el control de inventario se ha convertido en un reto importante debido a que las empresas buscan reducir costos y mejorar el nivel de servicio al cliente, así mismo la selección de proveedores en la cadena de suministro se ha convertido en un importante factor de competitividad. No obstante, generalmente la naturaleza de estas decisiones son complejas y no estructuradas. Generalmente la selección de proveedores se ha tratado bajo un enfoque de costos a pesar de que existen varios factores cuantitativos y cualitativos como la calidad, la flexibilidad y el desempeño de entrega los cuales deben ser considerados. En el caso de materias primas fundamentales, es más conveniente la relación de sociedad entre proveedor y cliente, en el que ambas partes se benefician debido a que el comprador recibe un precio preferencial y la eficacia del servicio, y el proveedor garantiza un considerable volumen de venta. Adquirir materia prima fundamental a un precio bajo con una calidad no adecuada provoca una disminución en la calidad de los productos y un decremento en la satisfacción del cliente. En estos casos, un indicador clave de rendimiento como la Efectividad Total del Equipo OEE (Overall Equipment Effectiveness) puede ser considerado. El OEE es un porcentaje utilizado para evaluar la eficiencia en la producción de una empresa. La ventaja de la OEE métrica es la medición en un único indicador de la disponibilidad, eficiencia y calidad, siendo todos estos parámetros fundamentales de la producción industrial.

Justificación del Problema

Los sistemas tradicionales de suministro tienen como único objetivo el minimizar los costes ó maximizar sus ganancias. Sin embargo, actualmente la gestión de la cadena de suministro involucra el enfoque de nuevas estrategias y tecnologías para responder a los desafíos y demanda de los clientes. La globalización de las actividades económicas junto con el rápido desarrollo de las tecnologías de la información ha conducido a ciclos cortos de vida del producto, pequeños lotes, y un muy dinámico

comportamiento de los clientes en términos de preferencia. Esto ha contribuido al crecimiento de la incertidumbre de la demanda y teniendo como resultado una mayor importancia al desarrollo de un robusto y buen diseño de red de cadena de suministro (Melo, Nickel & Saldanha-da-Gama 2009). El trabajo que se pretende realizar aun no ha sido abordado en la literatura actual, los casos analizados no consideran el enfoque de selección de proveedores bajo el enfoque del OEE, y minimización de los costos generados en una cadena de suministro de tres etapas.

Hipótesis

La hipótesis de este trabajo se concentra en la premisa de que es posible modelar, resolver y evaluar un modelo matemático bi-objetivo de localización-inventario capacitado, considerando una demanda estocástica en un ambiente de integración de riesgo, donde el nivel de servicio, la política de Revisión Continua de Inventarios y selección de proveedores basada en la Efectividad Total del Equipo OEE, se estudian simultáneamente con las decisiones de diseño de una cadena de suministro de tres niveles. Buscando minimización de los costos generados del sistema y la maximización de OEE en el flujo de producción de los proveedores hacia el resto de la cadena de suministro.

Objetivo General

El objetivo general es incorporar en un diseño de cadena de suministro de tres niveles, decisiones estratégicas y tácticas, tales como la selección de proveedores basado en la Efectividad Total del Equipo OEE, el control de inventario bajo la política de Revisión Continua, con una demanda estocástica en un ambiente de integración de riesgo (risk pooling). Considerando la minimización de los costos generados de las decisiones de diseño de cadena de suministro de tres niveles, y la maximización de OEE en el flujo de producción de los proveedores hacia el resto de la cadena de suministro.

Metodología

- Análisis de la problemática propuesta.
 - Antecedentes.
 - Justificación del problema.
 - Hipótesis.
 - Objetivo general.
- Revisión Bibliográfica.
- Construcción del modelo matemático “Selección de Proveedores en un Problema de Localización-Inventario para una Cadena de Suministro de Tres Niveles ”.
 - Linealización de restricciones.
 - Función lineal a tramos
- Validación del modelo propuesto.
- Diseño de instancias de prueba.
- Análisis de resultados.
 - Métricas $D(A)$ y R_{pos} .
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE CADENA DE SUMINISTRO BI-OBJETIVO DE LOCALIZACIÓN-INVENTARIO Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES BAJO UN AMBIENTE DE INTEGRACIÓN DE RIESGO.

Guerrero-Campanur A.

Universidad Popular Autónoma de Estado de Puebla UP AEP

e-mail: aaron.guerrero@upaep.com.mx

Olivares-Benítez E.

Universidad Popular Autónoma de Estado de Puebla UP AEP

e-mail: elias.olivares@upaep.mx

Miranda-González P.A.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV

e-mail: pablo.miranda@ucv.cl

RESUMEN

Un diseño de red de cadena de suministro es fundamental para llevar a cabo una eficiente y efectiva administración de cadena de suministro. La administración de cadena de suministro involucra múltiples objetivos en conflicto, por ejemplo, costo de transporte, de operación, tiempo de transporte, calidad de servicio, entre otros. En esta investigación es formulado un modelo bi-objetivo de localización-inventario con capacidades considerando una demanda estocástica en un ambiente de integración de riesgo. El nivel de servicio, la política de revisión continua de inventarios y selección de proveedores (basado en la Efectividad Total del Equipo OEE) se estudian simultáneamente con las decisiones de diseño de la red, tal como la apertura de planta, almacén y la asignación de los clientes. El estudio es basado en un conjunto de soluciones encontradas por el método epsilon-constraint y presentadas en el óptimo de Pareto.

PALABRAS CLAVE: Bi-objetivo, localización-inventario, selección de proveedores, efectividad total del equipo, cadena de suministro, integración de riesgo, epsilon-constraint.

Área principal (L & T - Logística y Transporte)

ABSTRACT

A design of supply chain network is essential to carry out an efficient and effective supply chain management. The supply chain management involves multiple conflicting objectives, for example, transportation costs, transportation time, service quality, among others. In this research is developed a bi-objective inventory-location model considering capacity with stochastic demand and risk pooling. The level of service, the policy in continuous review inventory and supplier selection (based on the Overall Equipment Effectiveness OEE) are studied concurrently with the design decisions of the network, such as localization of plants, warehouses and the allocation of customers. The study is based on a set of solutions found by the method epsilon-constraint and presented in the Pareto optimal.

KEYWORDS: Bi-objective, inventory-location, supplier selection, Overall Equipment Effectiveness, supply chain, risk pooling, epsilon-constraint.

Introducción

La cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa e indirectamente, en satisfacer las necesidades de los clientes (Chopra & Meindl, 2001). El diseño de la cadena de suministro es importante para llevar a cabo la gestión de la cadena de suministro que tiene como propósito el satisfacer las necesidades del cliente con tanta eficacia como sea posible. La literatura estándar sobre la gestión de la cadena de suministro clasifica los problemas en tres niveles jerárquicos: estratégicos (largo plazo), tácticos (mediano plazo) y operacionales (corto plazo). Tradicionalmente se enfrentan estos problemas de manera aislada, es decir decisiones estratégicas se toman a nivel gerencial, tácticas a nivel de jefatura, y operacionales a nivel de piso (Miranda & Garrido 2004). Los sistemas tradicionales de suministro tienen como único objetivo el minimizar los costes ó maximizar sus ganancias. Sin embargo, actualmente la gestión de la cadena de suministro involucra el enfoque de nuevas estrategias y tecnologías para responder a los desafíos y demanda de los clientes. La globalización de las actividades económicas junto con el rápido desarrollo de las tecnologías de la información ha conducido a ciclos cortos de vida del producto, pequeños lotes, y un muy dinámico comportamiento de los clientes en términos de preferencia. Esto ha contribuido al crecimiento de la incertidumbre de la demanda y teniendo como resultado una mayor importancia al desarrollo de un robusto y buen diseño de red de cadena de suministro (Melo, Nickel & Saldanha-da-Gama 2009). En estos casos la formulación de red de cadena de suministro multi-objetivo tiene que ser considerada.

El objetivo de la investigación es incorporar en el diseño bi-objetivo de la cadena de suministro, decisiones tácticas / operacionales en la localización de las instalaciones, decisiones de control de inventario y selección de proveedores, bajo un ambiente de integración de riesgo donde la localización de la planta o almacén central es conocido y los proveedores y almacenes regionales tienen una capacidad limitada. La integración de riesgo se presenta al considerar la varianza de la demanda en el modelo lo cual permite una disminución en el stock de seguridad y por lo tanto reduce el inventario promedio. El modelo desarrollado es considerado una extensión del problema de localización de instalaciones con capacidad (capacitated facility location problem CFLP), catalogado NP-Hard. El enfoque de solución es basado en un conjunto de soluciones encontradas por el método epsilon-constraint y presentadas en el óptimo de Pareto para instancias pequeñas, para instancias mayores se analiza un enfoque de solución de Relajación de Lagrange. Se trabajara en un inicio con instancias relativamente pequeñas para comparar los resultados obtenidos al resolver el modelo de manera óptima con los resultados obtenidos con el método heurístico.

Revisión de literatura

Se contemplan modelos de integración localización-inventario y multi-objetivo en la cadena de suministro. Nozick y Turnquist (1998) presentan un modelo lineal donde los costos de inventario de seguridad en función al nivel de servicio deseado de una demanda incierta son considerados en un modelo de localización. Erlebacher y Meller (2000) un modelo no lineal de localización-inventario donde buscan minimizar los costos fijos de operación, costos de inventario en los centros de distribución, y los costos de transporte entre plantas y centros de distribución, y centros de distribución y clientes, el enfoque de solución se basa en el desarrollo de dos heurísticas de asignación de clientes a

centros de distribución. Nozick (2001), desarrolla un modelo localización-carga fija con restricciones de cobertura, manteniendo un nivel adecuado de servicio y minimizando los costos. El enfoque de solución es basado en Relajación de Lagrange y el método de sub-gradiente. Daskin, Coullard, y Shen (2002) presentan un modelo no lineal entero de localización que incorpora los costos de inventario en proceso e inventario de seguridad en los centros de distribución en un ambiente de risk pooling, así como los costos de transporte de los proveedores a los centros de distribución. El algoritmo de solución utilizado es Relajación de Lagrange. Shen, Coullard, y Daskin (2003) consideran un modelo de programación no lineal entero de localización-inventario relacionado con un único proveedor y los múltiples minoristas. Cada minorista cuenta con una demanda variable, y una cierta cantidad de stock de seguridad se debe mantener para alcanzar niveles adecuados de servicio esto permite que algunos minoristas puedan servir como centros de distribución (y por lo tanto, lugares de almacenamiento de inventarios) de otros minoristas. El problema es determinar cuales minoristas deben servir como centros de distribución y la forma de asignar los otros minoristas a los centros de distribución, utilizando el algoritmo de Generación de Columnas como algoritmo de solución. Miranda y Garrido (2004) estudia un modelo de localización-inventario que integra decisiones de inventario y localización de instalaciones para resolver el problema de red de distribución se incorpora una demanda estocástica y el fenómeno de risk pooling. El enfoque de solución es basado en Relajación de Lagrange y el método de sub-gradiente. Ozsen (2004) presenta una versión de modelo de localización bajo risk pooling con capacidad que determina la política de pedidos en los centros de distribución por lo que la agregación de inventarios no exceden las capacidades del centro de distribución el enfoque de solución considera Relajación de Lagrange. Shen y Daskin (2005) extendió el modelo de localización bajo risk pooling incluyendo el componente de servicio al cliente basado en una fracción de la demanda en relación a una distancia específica del centro de distribución proponiendo un modelo no lineal bi-objetivo. Utilizando Algoritmos Genéticos como enfoque de solución. Gaur y Ravindran (2006) estudiaron un modelo estocástico de optimización bi-criterio para representar el problema de agregación de inventario bajo un ambiente de risk pooling con el objetivo de determinar el tradeoff entre los costos y la capacidad de respuesta. Olivares-Benítez, González-Velarde, y Roger Z. Ríos-Mercado (2010) presentan un modelo bi-objetivo mixto entero las decisiones a tomar son la ubicación de los centros de distribución, la selección de los canales de transporte, y el flujo entre las instalaciones. Los canales de transporte introducen un trade-off de costo-tiempo. Para el enfoque de solución se consideran tres variaciones del método epsilon-constraint para generar los frentes del óptimo de Pareto.

Planteamiento del problema

El diseño de cadena de suministro bi-objetivo de localización-inventario y selección de proveedores bajo un ambiente de integración de riesgo (DCSIR-BO) es basado en un sistema de tres etapas, un producto y un periodo de tiempo *Figura 1*. La cantidad de productos enviados entre etapas así como el inventario de seguridad de la planta y los almacenes regionales se basa en la política de revisión continua de inventarios. El número y localización de clientes es conocido. La cantidad de proveedores, almacenes regionales y plantas a utilizarse no está definido. Cada planta y almacén regional tiene un costo fijo de apertura, capacidad y costo de almacenamiento. Los proveedores cuentan con una capacidad de producción y costo por producto. La selección de proveedores se realiza en base de la

efectividad total del equipo. La demanda del cliente es conocida. La idea del problema es seleccionar los almacenes regionales, determinar la cantidad de productos enviados entre instalaciones y la cantidad de productos en inventario de seguridad que minimicen la combinación del costo de transporte y el costo fijo de apertura. Además seleccionar al proveedor o proveedores que cuenten con una mayor efectividad total del equipo.

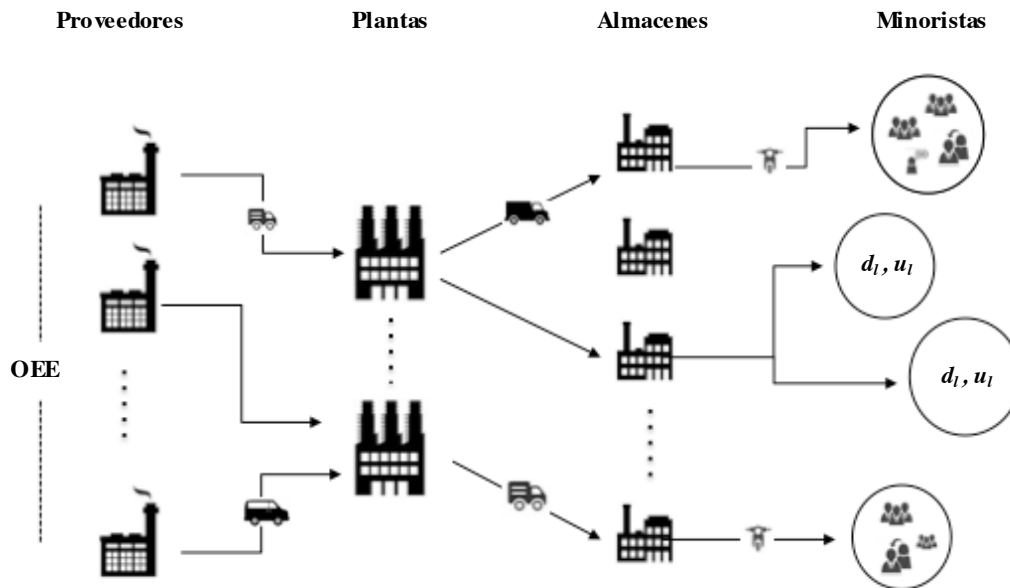


Fig. 2. Representación grafica de la cadena de suministro

Efectividad global del equipo OEE

El análisis de efectividad global del equipo (OEE) actúa como un indicador porcentual de desempeño único. Se basa en la relación entre el tiempo total disponible de producción y el tiempo de planificación de producción. OEE esta constituido por tres elementos: disponibilidad, rendimiento y calidad (1). La disponibilidad toma en cuenta las pérdidas de tiempo que detienen la producción planificada. Por ejemplo, escases en los materiales, cambio de herramental, falla en los equipos. En muchos casos estas perdidas de tiempo no pueden ser eliminadas pero si se pueden reducir. El rendimiento considera la pérdida de velocidad, incluye los factores que hacen que el proceso opere a un tiempo de ciclo mayor que el mínimo posible. Algunas causas son el desgaste del equipo, materiales de calidad inferior, ineficiencia del operador. La calidad toma en cuenta la perdida que representan los productos producidos que no cumplen con los estándares de calidad, incluyendo piezas que requieren correcciones.

$$OEE_i = \left(\frac{OT_i}{NAT_i} \right) \cdot \left(\frac{ICT_i \cdot TPR_i}{OT_i} \right) \cdot \left(\frac{TPR_i - TD_i}{TPR_i} \right) \quad (1)$$

Donde:

OT_i : tiempo de operación proveedor i

NAT_i	:	tiempo total disponible sistema proveedor i
ICT_i	:	tiempo de ciclo ideal proveedor i
TPR_i	:	total de piezas en la corrida proveedor i
TD_i	:	total de piezas defectuosas en la corrida proveedor i

Política de control de inventario y costo económico de pedido

La política de revisión continua de inventario (q, RP) será usada como patrón en el calculo del costo económico de pedido y costo de inventario para cada planta j y almacén k . En este caso tenemos una demanda estocástica d_l y una varianza v_l del minorista l . Para calcular los costos económicos de pedido EOC tenemos que el sistema de costo total de inventario en la planta j está dado por costo mantener inventario $\left(\frac{q}{2}\right)hc$, costo de ordenar $\left(\frac{d}{q}\right)oc$ y costo del material cd .

$$\text{Costo Total Inventario cost} = cd + \left(\frac{d}{q}\right)oc - \left(\frac{q}{2}\right)hc \quad (1)$$

Donde:

cd	:	costo del material
d	:	Demanda
q	:	cantidad de pedido
oc	:	costo de ordenar
hc	:	costo de mantener en inventario

Derivando la igualdad (2) con respecto de q se obtiene la cantidad económica de pedido q^* (3). Además si sustituimos (3) en (2) obtenemos la función de costo económico de pedido EOC en la planta j (4) con la cual se trabajara en el modelo matemático para cada planta j y almacén k correspondientemente.

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot oc}{hc}} \quad (2)$$

$$EOC = \sqrt{2 \cdot oc \cdot hc} \cdot \sqrt{d} \quad (3)$$

Asumiendo una distribución Normal para la demanda, el punto de reorden RP_j para cada planta j y almacén k , puede ser calculado de acuerdo la ecuación (6), donde ZT representa el valor de la distribución Normal (0,1) que acumula una probabilidad de $1-\alpha$. Esta probabilidad es conocida normalmente como nivel de seguridad del sistema (5), asociado al inventario de seguridad para todas las plantas j y almacenes k . El producto de $\sqrt{u} \cdot \sqrt{LT}$ representa la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega LT_j .

$$\text{Prob}(d(LT) \leq RP) \geq 1 - \alpha \quad (5)$$

$$RP = d \cdot LT \cdot ZT \cdot \sqrt{u} \cdot \sqrt{LT} \quad (6)$$

Basados en (6) tenemos que RP_j se encuentra conformado por la demanda promedio durante un tiempo de entrega $d \cdot LT$ y por el inventario de seguridad $ZT \cdot \sqrt{u} \cdot \sqrt{LT}$, siendo la cantidad de inventario que debe tener en existencia en cada planta j y almacén k para absorber fluctuaciones de la demanda del minorista l o la utilización durante el tiempo que transcurre entre la colocación del pedido y su recepción en cada planta j o almacén k . La determinación del tamaño de inventario de seguridad incluye un equilibrio costo de quedar probablemente sin existencias y el costo de mantener el inventario de seguridad. En este caso no se consideran costos por quedar sin existencias, solo el costo por mantener en inventario (7) en cada planta j o almacén k .

$$ZT \cdot HC_j \cdot \sqrt{u_j} \cdot \sqrt{LT_j} \quad (7)$$

Formulación del modelo

A continuación se presentan tres formas de modelación de DCSIR-BO. De inicio de parte de un modelo no lineal bi-objetivo entero mixto, enseguida se pasa a la linealización de restricciones y por ultimo a un modelo bi-objetivo lineal entero mixto mediante una función objetivo lineal a tramos.

Modelo bi-objetivo no lineal entero mixto DCSIR-NL

Notación.

Grupos:

- I : grupo de proveedor i
- J : grupo de planta j
- K : grupo de almacén k
- L : grupo de minorista l

- TC_{kl} : costo transporte almacén k minorista l
- UC_i : costo por unidad proveedor i
- U_l : varianza minorista l
- ZT_k : valores de $ZT = 97.5\% - 1.96, 90.0\% - 1.28, 75\% - 0.67, 50\% - 0$

Parámetros

- Cap_i : capacidad proveedor i
- Cap_k : capacidad almacén k
- Cap_j : capacidad planta j
- D_l : demanda minorista l
- FC_j : costo fijo de apertura planta j
- FC_k : costo fijo de apertura almacén k
- HC_j : Costo almacén (unidad) en planta j
- HC_k : costo de almacenaje en almacén k
- LT_k : lead time almacén k
- LT_j : lead time planta j
- OC_j : costo ordenar planta j
- OC_k : costo ordenar almacén k
- OEE_i : efectividad global del equipo proveedor i
- TC_{jk} : costo transporte planta j

VARIABLES DE DECISIÓN

- X_k : variable binaria apertura almacén k
- Y_j : variable binaria apertura planta j
- A_{kl} : variable binaria arco almacén k minorista l
- B_{jk} : variable binaria arco planta j almacén k

VARIABLES AUXILIARES

- VP_{ij} : volumen producción proveedor i planta j
- D_{jk} : volumen de flujo planta j almacén k
- D_j : demanda planta j
- U_j : varianza planta j
- D_k : demanda del almacén k

almacén k

U_k : varianza almacén k

Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max } Z1 = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J UC_i \cdot VP_{ij} + \sum_{j=1}^J \sqrt{2 \cdot OC_j \cdot HC_j} \cdot \sqrt{D_j} + Z_{1-\alpha} \cdot HC_j \cdot \sqrt{LT_j} \cdot \sqrt{U_j} + \sum_{j=1}^J FCp_j \cdot y_j + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K TC_{jk} \cdot D_k + \sum_{k=1}^K \sqrt{2 \cdot OC_k \cdot HC_k} \cdot \sqrt{D_k} + Z_{1-\alpha} \cdot HC_k \cdot \sqrt{LT_k} \cdot \sqrt{U_k} + \sum_{k=1}^K FCw_k \cdot x_k + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L TC_{kl} \cdot D_l \cdot A_{kl} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{Max } Z2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J VP_{ij} \cdot OEE_i \quad (9)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^K A_{kl} = 1 \quad \forall l = 1, \dots, L \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^L D_l \cdot A_{kl} \leq Cap_k \cdot X_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (11)$$

$$\sum_{l=1}^L D_l \cdot A_{kl} = D_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^L U_l \cdot A_{kl} = U_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (13)$$

$$D_l \cdot A_{kl} = D_{kl} \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (14)$$

$$U_l \cdot A_{kl} = U_{kl} \quad \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^K D_k \cdot B_{jk} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^K U_k \cdot B_{jk} = U_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^K D_k \cdot B_{jk} = Cap_j \cdot Y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (18)$$

$$D_k \cdot B_{jk} = D_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K \quad (19)$$

$$U_k \cdot B_{jk} = U_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^J B_{jk} = X_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^I VP_{ij} \leq Cap_j \cdot Y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^I VP_{ij} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J VP_{ij} \leq Cap_i \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (24)$$

$$x_k, y_j, A_{kl}, B_{jk} \in 0, 1 \quad (25)$$

Donde la función objetivo Z1 busca minimizar los costos de transporte, costos de apertura de almacenes y proveedores, costo económico de pedido y el inventario de seguridad de las plantas y almacenes. La función objetivo Z2 busca maximizar la efectividad total del equipo en la selección de proveedores. La restricción (10) indica que un minorista l es asignado a un solo almacén k . En (11) se acota la asignación de los minoristas en relación a la capacidad de cada almacén activo. La restricción (12)-(13) presenta el balance de flujo la demanda y varianza en cada almacén. En (14)-(15) asigna la demanda y varianza de cada minorista al flujo de almacenes a minoristas. La restricción (16)-(17) presenta el balance de flujo de demanda y varianza en cada planta. En (11) se acota la asignación de los almacenes en relación a la capacidad de cada planta. En (19)-(20) asigna el volumen de flujo de planta a cada almacén. La restricción (21) asegura que de una planta activa se manda volumen de flujo hacia el almacén. En (22) se acota el volumen de flujo del proveedor a la planta en relación a la capacidad de cada planta activa. En (23) se presenta el balance del flujo del proveedor asignado a cada a la planta. La restricción (24) indica que el volumen de flujo del proveedor a la planta es menor o igual a la capacidad de cada proveedor. La restricción (25) indica que son X_k, Y_j, A_{kl}, B_{jk} variables binarias.

Linealización de restricciones DCSIR-PL

En la linealización de restricciones (16) – (20) se considera que, en la restricción (13) se presenta una variable de decisión binaria B_{jk} y un variable auxiliar entera discreta D_k .

$$\sum_{k=1}^K D_k \cdot B_{jk} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (13)$$

Además de acuerdo a (12) se tiene que

$$\sum_{l=1}^L D_l \cdot A_{kl} = D_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (12)$$

Bajo esos argumentos podemos escribir la restricción (16) de la siguiente forma:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L D_l \cdot A_{kl} \cdot B_{jk} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (26)$$

Teniendo en este caso un producto de dos variables binarias de decisión $B_{jk} \cdot A_{kl}$, y una constante D_l . Si generamos una sola variable binaria C_{jkl} y se agregan las desigualdades (28) y (29) que aseguran que si $A_{kl} = 1$ y $B_{jk} = 1$ la variable $C_{jkl} = 1$ en otro caso 0, se obtiene una restricción lineal (27) que involucra el producto de una constante D_l por una variable binaria de decisión C_{jkl} y un par de desigualdades lineales.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L D_l \cdot C_{jkl} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (27)$$

$$C_{jkl} \geq A_{kl} + B_{jk} - 1 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (28)$$

$$C_{jkl} \leq B_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (29)$$

Bajo el mismo argumento tenemos que las restricciones (17) – (20) son representadas de la siguiente forma:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L U_l \cdot C_{jkl} = U_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (30)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L D_l \cdot C_{jkl} \leq Cap_j \cdot Y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (31)$$

$$\sum_{l=1}^L D_l \cdot C_{jkl} = D_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K \quad (32)$$

$$\sum_{l=1}^L U_l \cdot C_{jkl} = U_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K \quad (33)$$

Linealización a tramos de función objetivo Z1 DCSIR-L

En una función lineal a tramos, la función esta definida por dos o más diferentes rectas presentadas en diferentes partes del dominio de la función. Se usa una función lineal a tramos del costo económico de pedido, y del costo de mantener el inventario de las plantas j y de los almacenes k en la función objetivo $Z1$. En el caso del costo económico de pedido de cada planta j $\sum_{j=1}^J \sqrt{2 \cdot D_j \cdot OC_j \cdot HC_j}$ se trabajara en la linealización de $\sqrt{D_j}$, debido a que el resto de los términos son constantes *Figura 4*. La función $\sqrt{D_j}$ es aproximadamente lineal a $BSd_{jm-1} * Fd_{jm} + Pd_{jm} * Gd_{jm}$ con $BSd_{j1} < BSd_{j2} < BSd_{j3} < \dots < BSd_{jm}$ y $Pd_{j1} > Pd_{j2} > Pd_{j3} > \dots > Pd_{jm}$, para $m=1 \dots M$ tramos, donde ASd_{jm} valor de la demanda de la planta j en la sección m , BSd_{jm} valor de la función de la demanda de la planta j en la sección m , Fd_{jm} una variable binaria de apertura de arco planta j en el tramo m , Pd_{jm} es la pendiente de la demanda en el tramo m , y Gd_{jm} volumen de demanda en la pendiente de la planta j en el tramo m .

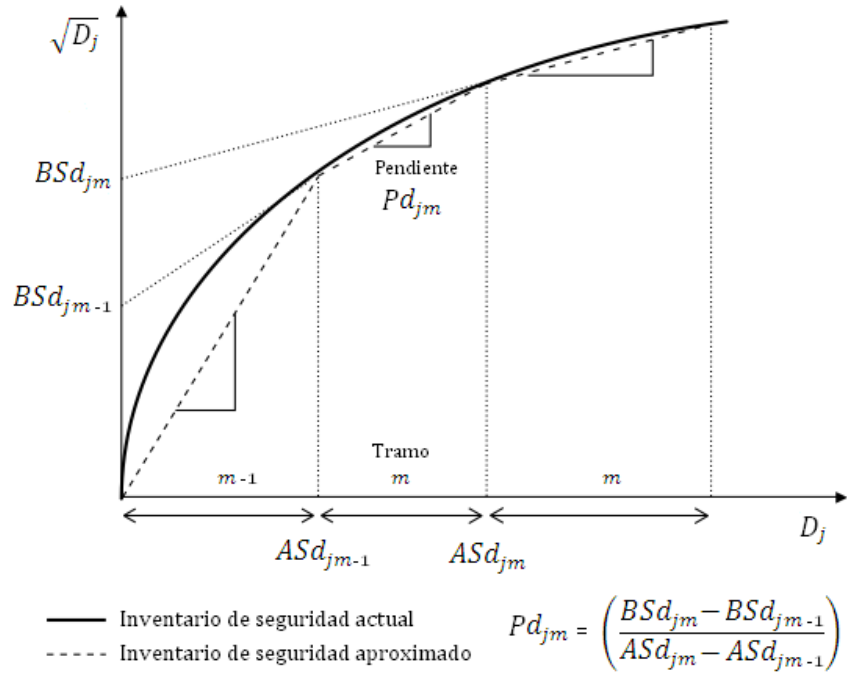


Fig. 3. Gráfica función lineal a tramos.

Por lo tanto la función lineal a tramos es de la siguiente manera.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sqrt{2 \cdot OC_j \cdot HC_j} \cdot BSd_{jm-1} \cdot Fd_{jm} + Pd_{jm} \cdot Gd_{jm} \quad (34)$$

Sujeto a:

$$\sum_{m=1}^M Gd_{jm} + ASd_{jm-1} \cdot Fd_{jm} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (35)$$

$$Gd_{jm} \leq ASd_{jm} \cdot Fd_{jm} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall m = 1, \dots, M \quad (36)$$

$$\sum_{m=1}^M Fd_{jm} \leq Y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (37)$$

$$Fd_{jm}, Y_j \in 0, 1 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall m = 1, \dots, M \quad (38)$$

Bajo el mismo análisis tenemos la función lineal a tramos del costo de mantener el inventario en cada planta j , costo económico de pedido y del costo de mantener en cada almacén k .

Enfoque de solución bi-objetivo

El enfoque de solución para instancias pequeñas es el método de epsilon-constraint interpretado mediante el óptimo de Pareto. De acuerdo al método de epsilon-constraint se optimiza uno de los objetivos, y el resto de los objetivos se incorporan al modelo en forma de restricciones paramétricas. En este caso se toma la restricción Z2 para ser incorporada como restricción paramétrica, quedando de la siguiente manera.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J VP_{ij} \cdot OEE_i \geq \varepsilon \quad (39)$$

La programación lineal paramétrica, investiga los cambios en la solución óptima de la PL que son el resultado de variaciones continuas predeterminadas en los coeficientes de la función objetivo y en el lado derecho de las restricciones, en este caso ε representa el porcentaje de OEE promedio del flujo total de VP_{ij} con respecto a la demanda D_i en el sistema.

Experimentación y resultados

A continuación se presentan los resultados (soluciones no dominadas) de las tres formas de modelación de DCSIR-BO en Lingo 10.0. (DCSIR-NL = No lineal, DCSIR-PL= Lineal restricciones, DCSIR-L = Lineal restricciones y función objetivo). En las tablas 1-3 se resumen los resultados obtenidos de la evaluación de los modelos. Para cada modelación se expresa el valor de la función objetivo (Min Z1) y el tipo de la solución. Si en el estatus de una solución aparece la palabra "O. Local" significa que se logró encontrar una solución óptima local, en otro caso, la palabra "O. Global" significa que se encontró una solución óptima global.

En una instancia inicial se consideran 4 proveedores, 3 plantas, 5 localizaciones de almacenes regionales, 10 minoristas y un nivel de servicio $z = 95\%$.

Tabla 1 Instancia 1 4S-3P-5W-10R

ε	Min Z1			Solución			Tiempo Computacional		
	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L
40%	8694249	8694249	8694249	O. Local	O. Local	O. Global	00:05:54	00:00:24	00:00:32
45%	8701389	8701389	8701389	O. Local	O. Local	O. Global	00:03:01	00:00:21	00:00:32
50%	8708529	8708529	8708529	O. Local	O. Local	O. Global	00:04:27	00:00:29	00:00:39
55%	8718278	8715669	8715669	O. Local	O. Local	O. Global	00:05:31	00:00:21	00:00:32
60%	8724829	8724829	8724829	O. Local	O. Local	O. Global	00:04:11	00:00:18	00:00:17
65%	8739240	8737019	8737019	O. Local	O. Local	O. Global	00:05:26	00:00:19	00:00:17
70%	nf	nf	nf	-	-	-	-	-	-

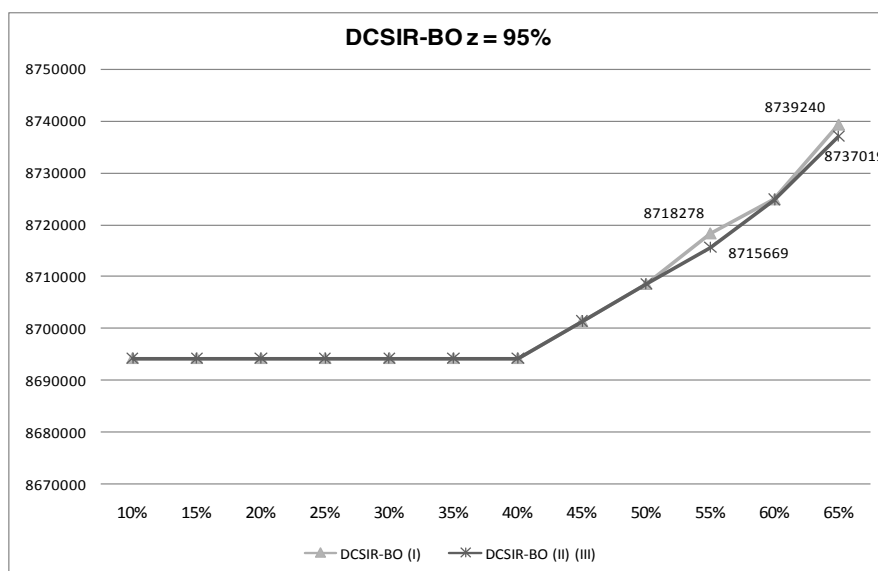


Fig. 4. Frente Pareto Instancia 1

En la segunda instancia se consideran 4 proveedores, 3 plantas, 5 localizaciones de almacenes regionales, 15 minoristas y un nivel de servicio $z = 95\%$.

Tabla 2 Instancia 2 4S-3P-5W-15R

ϵ	Min Z1			Solución			Tiempo Computacional		
	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L
55%	8738079	8737590	8737590	O. Local	O. Local	O. Global	01:45:11	00:29:41	00:02:48
60%	8738190	8738099	8738099	O. Local	O. Local	O. Global	02:35:14	00:35:11	00:02:49
65%	8759112	8756331	8747271	O. Local	O. Local	O. Global	03:29:16	00:27:41	00:09:41
70%	NF	NF	NF	-	-	-	-	-	-

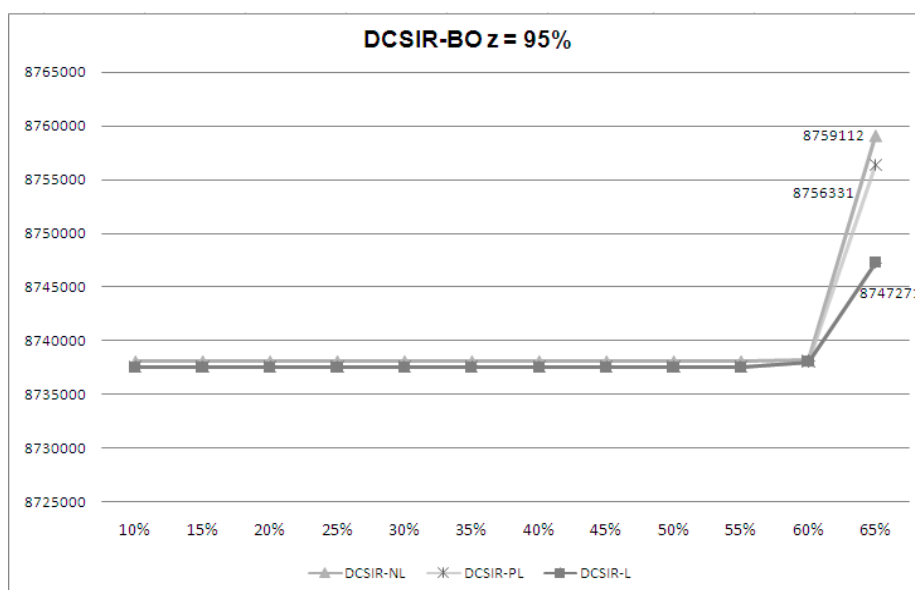


Fig. 5. Frente Pareto Instancia 2

En una tercera instancia se consideran 5 proveedores, 3 plantas, 8 localizaciones de almacenes regionales, 20 minoristas y un nivel de servicio $z = 95\%$.

Tabla 3 Instancia 3 4S-3P-8W-20R

ϵ	Min Z1			Solución			Tiempo Computacional		
	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L	DCSIR-NL	DCSIR-PL	DCSIR-L
60%	-	10924710	10924710	-	O. Local	O. Global	-	01:20:15	00:18:30
65%	-	10944616	10931840	-	O. Local	O. Global	-	03:44:23	00:37:58
70%	NF	NF	NF	-	-	-	-	-	-

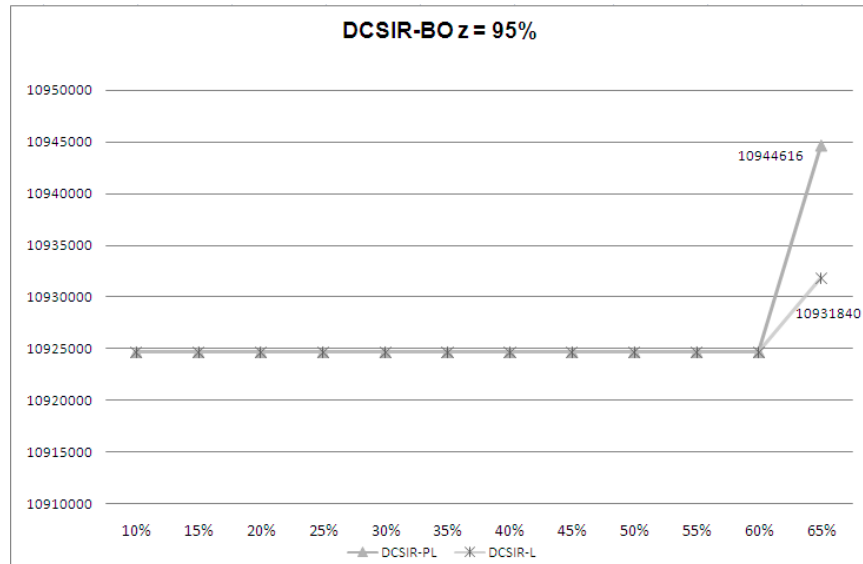


Fig. 7. Frente Pareto Instancia 3

En las tres instancias se observó que el valor de la función objetivo (Min Z1) en DCSIR- NL es mayor en comparación con DCSIR-PL y DCSIR-L, debido a que sus soluciones fueron óptimas locales (salvo en la instancia 3, la cual es intratable computacionalmente para Lingo 10.0). Los modelos DCSIR-PL y DCSIR-L fueron capaces de resolver las tres instancias propuestas, pero DCSIR-L obtuvo soluciones óptimas globales de menor costo en un tiempo computacional menor. La diferencia del valor de la función objetivo (Min Z1) de los tres modelos se presentan principalmente en los últimos valores de z (50% - 60%), antes de llegar a la infactibilidad. Como es conocido, el incremento en algún conjunto de proveedores, plantas, almacenes y/o clientes produce un crecimiento exponencial en el número de variables y en el número de restricciones. Además si se considera una función objetivo no lineal genera que el modelo DCSIR- NL se vuelve computacionalmente intratable al generar instancias mayores.

Conclusiones y trabajos futuros

En los modelos DCSIR-BO utilizados para el diseño de cadena de suministro de localización-inventario y selección de proveedores bajo un ambiente de integración de riesgo, se observó que los modelos DCSIR-PL y DCSIR-L tienen un mejor desempeño en relación a su función de costos y tiempo computacional en instancias pequeñas frente a DCSIR- NL. Más sin embargo se continuara trabajando con instancias mayores bajo el enfoque de Relajación de Langrange.

Referencias

- Altıparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers & Industrial Engineering*, 51, 197–216.
- Chopra S. and Meindl P. (2001). *Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación*. Pearson Prentice Hall. (2001).
- Daskin M., Coullard C., and Shen Z. (2002). An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results. *Annals of Operations Research*, 110, 83-106.
- Erlebacher S.J., Meller R.C. (2000). The interaction of location and inventory in designing distribution systems. *IIE Transactions*, 32, 155–166.
- Gaur S., Ravindran A. (2006). A bi-criteria model for the inventory aggregation problem under risk pooling. *Computers & Industrial Engineering*, 51, 482-501.
- Melo M.T., Nickel S., Saldanha-da-Gama F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 196, 401–412.
- Miranda P., Garrido R. (2004). Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network model with stochastic demand. *Transportation Research Part E*, 40, 183-207.
- Nozick L.K., Turnquist M.A. (1998). Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34, 173–186.
- Nozick L.K. (2001). The fixed charge facility location problem with coverage restriction. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37, 281-296.
- Olivares-Benítez, González-Velarde, Ríos-Mercado Roger Z. (2010). A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices, *TOP*, 10.1007/s11750-010-0162-8, 1–25.
- Ozsen L. (2004). *Location-Inventory Planning Models: Capacity Issues and Solution Algorithms*, PhD Dissertation, Northwestern University, IL. 2004.
- Sabri E.H., Beamon B.M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, 28, 581–598.
- Shen Z., Daskin M. (2005). Trade-offs between customer service and cost in integrated supply chain design. *Manufacturing and Service Operations Management*, 7(3), 188-207.
- Shen Z.-J.M., Coullard C., Daskin M.S. (2003). A joint location-inventory model. *Transportation Science*, 37, 40–55.

CAPÍTULO 3: SUPPLIER SELECTION IN AN INVENTORY LOCATION PROBLEM FOR A THREE-LEVEL SUPPLY CHAIN

Aaron Guerrero-Campanur

Instituto Tecnológico Superior de Uruapan ITSU
Carr. Uruapan-Carapan 5555, Col. La Basilia, 60015, Uruapan, Michoacán, México
e-mail: aaronguerrero@tecuruapan.edu.mx

Elías Olivares-Benítez

Universidad Popular Autónoma de Estado de Puebla UPAEP
21 Sur 1103, Col. Santiago, 72410, Puebla, México
e-mail: elias.olivares@upaep.mx

Pablo A. Miranda

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV
Av. Brasil 2950, Casilla 4059, Valparaíso, Chile
e-mail: pablo.miranda@ucv.cl

ABSTRACT

This research presents a mixed integer nonlinear bi-objective model for a supply chain design problem. The model integrates strategic and tactical problems in a three-level supply chain network, considering a stochastic demand with risk-pooling. The policy of continuous review inventory, supplier selection, and network design decisions are studied concurrently. The supplier selection is based on Overall Equipment Effectiveness – OEE – and purchase costs. The nonlinear model is reformulated using a piecewise linear function, thereby achieving a mixed integer linear model. Several instances are solved using the epsilon-constraint method with the linear and nonlinear models, and the results are compared in terms of performance and quality of the Pareto sets using $D(A)$ and R_{pos} metric.

Keywords: Inventory Location Problem; Risk Pooling; Supplier Selection; Overall Equipment Effectiveness; Bi-objective Optimization; Epsilon-Constraint.

Introduction

Supply chain management SCM is defined as the design, planning, execution, control and monitoring of the activities of the supply chain. The objective of SCM is to maximize the total profit margin, generate a competitive infrastructure, and create a balance between supply and demand. Usually SCM deals several problems of different nature and hierarchical levels. The standard literature about SCM classifies problems into three hierarchical levels: strategic (long-term), tactical (medium-term) and operational (short-term). In contrast to the approach proposed in this research, these problems are typically solved following a sequential approach. Firstly senior management makes strategic decisions, and then lower-level managers make tactical/operational decisions. This circumstance tends to generate incompatibilities between each supply chain level, as discussed in *Coyle et al. (1992)*, *Mourits and Evers (1995)*, *Nozick L.K., Turnquist M.A. (1998)*, *Chopra S., Meindl P. (2001)*, *Shen Z.-J.M. et al. (2003)*, *Simchi-Levi et al. (2003)*, *Miranda P., Garrido R. (2004)*, and several related research. For instance, problem of Distribution Network Design DND considered strategic is solved and then tactical/operational decisions are incorporated, resulting in a degree of sub-optimization. Some tactical/operational aspects are the inventory control policy, the choice of transportation mode/capacity, warehouse design and management, vehicle routing, supplier selection, among others. Also within SCM, inventory management has become a significant challenge because firms simultaneously try to reduce costs and improve customer service level. Inventory management aims to determining the number of warehouses or distribution centers to have and calculate the amount of inventory to store. In recent years, supplier selection in the supply chain has become important competitiveness factor. However, the nature of these decisions usually is complex and unstructured. In general, many quantitative and qualitative factors such as quality, price, flexibility and delivery performance must be considered to determine suitable suppliers. Selection of suppliers typically has been treated under the cost approach. This can be used in cases where the product or service is one-time or circumstantial. In the case of critical raw materials, is more convenient the relationship of society, in which both parties benefit because the buyer gets a price and effectiveness, and the provider because it ensures large volumes. To acquire critical raw material at a low price if the quality is not adequate causes a decrease in the quality of products and customer satisfaction. In terms of supply chain effectiveness, the network's ability to respond quickly and effectively to customer requirements is a key factor differentiating competing companies nowadays.

Context and Problem Description

Distribution Network Design DND is one of the most studied strategic problems in SCM. DND has a direct impact on total profit margin and customer service level, and consists in finding the optimal sites to install plants, warehouses, and/or distribution centers, as well as assigning the customers to be served by these facilities, and finally how these facilities are connected to each other. Some researchers have incorporated inventory control decisions into the facility location problem, considering risk-pooling effect, *Erlebacher S.J., Meller R.D. (2000)*, *Daskin M., Coullard C., Shen Z. (2002)*, *Shen Z.-J.M., Coullard C., Daskin M.S. (2003)*, *Miranda P., Garrido R. (2004)*, *Shu J., Teo C.-P., Shen Z.-J.M. (2005)*, *Gaur S., Ravindran A. (2006)*, *Snyder L.V., Daskin M.S., Teo C.-P. (2007)*, *Ozsen, L., M. S.*

Daskin, C. Coullard (2008), Miranda P., Garrido R. (2009), Park Sukun, Lee Tae-Eog, Sung Chang Sup (2010), Jae-Hun Kang, Yeong-Dae Kim. (2012), and several related research. The risk-pooling effect occurs when inventory is held at a central location, which allows the demand variance at each retailer to be combined, resulting in a lower expected cost. They show that significant cost savings can be obtained by considering location and inventory decisions simultaneously. Supplier selection in the supply chain has become important competitiveness factor. Recently some authors *Junyan Wang, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang (2008), Wu Desheng, Olson David L. (2008), and Chan, F.T.S., (2003)*, have discussed the selection of suppliers. In general, many quantitative and qualitative factors such as quality, price, flexibility and delivery performance, must be considered to determine suitable suppliers. The relationship of quantitative and qualitative factors of a supplier is a complex problem because the various factors operate in a conjunction where if a factor has a bad performance all other elements could not compensate for their lack. In these cases a key indicator of performance can be considered. OEE (Overall Equipment Effectiveness) is a percentage rate used to evaluate the productive efficiency of industrial machinery. The advantage of the OEE metric is measuring in a single indicator of the availability, efficiency and quality. All these are fundamental parameters in industrial production. This research is based on a three-level supply chain, in which multiple suppliers serve a set of plants, which serve a set of warehouses, and this set of warehouses serves a set of end customers or retailers. The aim is to incorporate tactical/operational into strategic decisions, supplier selection (based in OEE), and inventory-location, into DND.

Literature Review

This section contemplated recent research literature that have been considered location-inventory in the supply chain network. For example, *Jayaraman (1998)* studied the capacitated warehouse location problem that involves locating a given number of warehouses to satisfy customer demands for different products and incorporates the EOQ model's inventory and ordering costs, assuming fixed lot sizes and deterministic demand. *Nozick and Turnquist (1998)* study the impact of integrating inventory into a fixed-charge location model assuming fixed fill rates. Approximate a linear function of total inventory cost is used, within their FLP model, as function of installed distribution centers. *Nozick and Turnquist (2001)* minimize inventory cost and unfulfilled demand, incorporating them iteratively into the fixed installation cost. *Nozick (2001)* develops a model location and fixed charge coverage restrictions, with a level of service and minimizing costs. The solution approach is based on two Lagrangian relaxation based heuristics are presented and tested. Both heuristics use a greedy adding algorithm to calculate upper bounds and subgradient optimization to calculate lower bounds. *Daskin et al. (2002), Shen et al. (2003) and Miranda and Garrido (2004)* present similar versions of a FLP model with inventory control decisions. The ordering decision is based on the EOQ model. A common factor among these models is the (Q,R) inventory control strategy, considering lot size as decision variable. The model structures assume normality and independence in the demand behavior. The papers, however, differ greatly in their solution methods. Indeed, while *Daskin et al. (2002)* apply different versions of Lagrangian Relaxation, *Shen et al. (2003)* reformulate the problem as a Set Covering Problem, and then solve it through a hybrid heuristic mixing columns generation and branch and bound methods. In *Shen et al. (2003) and Daskin et al. (2002)* customers represent retailers, being any of them potential

distribution centers. *Shen and Daskin (2005)* extend a cost-based location-inventory model (*Shen et al. 2003*) to include a customer service element and develop practical methods for quick and meaningful evaluation of cost/service trade-offs. Service is measured by the fraction of all demands that are located within an exogenously specified distance of the assigned distribution center. The nonlinear model simultaneously determines distribution center locations and the assignment of demand nodes to distribution centers to optimize the cost and service objectives. They propose a heuristic solution approach based on genetic algorithms. In relation system capacity *Gaur and Ravindran (2006)* develop a bi-criteria nonlinear stochastic integer programming model to determine the best supply chain distribution network to meet customer demands, where minimizing costs while maintaining high levels of responsiveness is important. They propose a two-stage optimization algorithm to solve this problem, while *Ozsen et al. (2008)* formulate a nonlinear integer-programming problem with deterministic constraints of inventory capacity. Lagrangian relaxation solution algorithm is used to solve the model. *Miranda and Garrido (2006, 2008)* modeled stochastic constraints of inventory capacity and order size capacity constraints in their inventory location models. The solution approach is based on Lagrangian relaxation, improved with validity constraints derived from the finite set of all possible combinations of mean demand and variance. *Shen and Qi (2007)* show an integrated supply chain design that includes location, inventory, and routing decisions in the same optimization model considering nonlinear costs and stochastic demand, for which they propose a Lagrangian relaxation based solution algorithm. However, the model does not consider the number of vehicles or routing zones as decision variables. *Miranda and Garrido (2009)* present a non-linear mixed integer programming model of collaborative e-Work based optimization approach for assisting the strategic logistic network design problem, incorporating fleet design and customer clustering decisions. In the proposed approach, strategic distribution network design is modeled as a Facility Location Problem, considering long-term inventory control decisions. On the other hand, tactical fleet design and customer clustering decisions are modeled based on a Hub and Spoke cost structure. *Alper Atamtürk et al. (2012)* show a conic quadratic mixed-integer formulation of facility location and inventory management problem with stochastic retailer demand. The conic integer programming considers realistic aspects such as correlation between retailers demand, stochastic lead times, and multi-commodities. Finally, *Jae-Hun Kang et al. (2012)* present a non-linear mixed integer programming model. The problem of selecting warehouses to be used among a set of candidate warehouses, assigning each retailer to one of the selected warehouses and determining replenishment plans for the warehouses and the retailers. A heuristic algorithm based on Lagrangian relaxation and subgradient optimization methods is used to solution approach.

Paper description and structure

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2 Problem Description and Modeling Structure. Section 3 shows Bi-Objective Problem formulation. This research presents a model bi-objective nonlinear mixed integer design problem for a supply chain, which can be considered an extension of capacitated facility location problem CFLP classified NP-Hard. The inventory policy and assignments on a three-level supply chain introduce significant non-linearity into the model. The nonlinear model is reformulated using a piecewise linear function and a reformulation of assignment

restrictions, thus achieving a mixed integer linear model. Section 4 presents Experimentation and results while Conclusions and Final Remarks are presented in Section 5.

Problem Description and Modeling Structure

Distribution Network Design

The research is based on a three-level supply chain. The supply chain is composed of suppliers, plants, warehouses, and retailers, considering a single product *Fig. 1*. All retailers have an independent demand and variance.

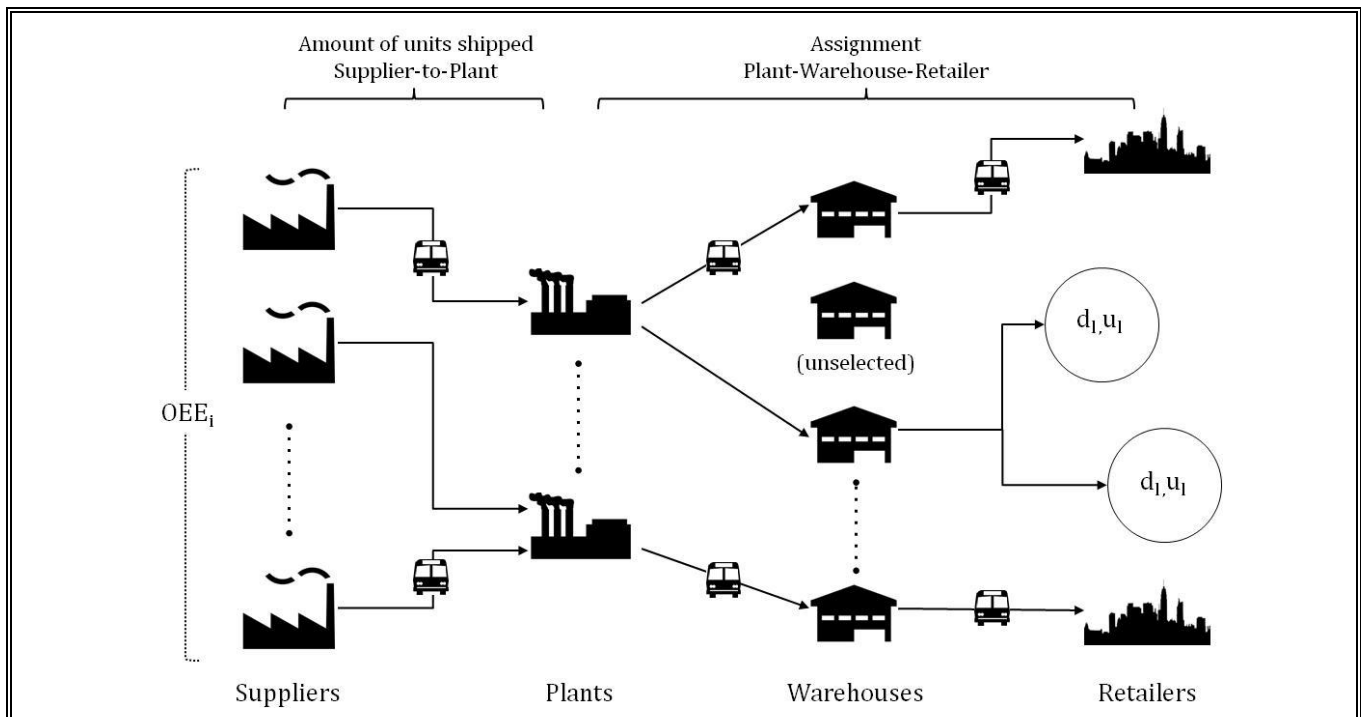


Fig. 1 Three-level Supply Chain consider Selection Supplier, Plant Location, Warehouse Location, and Assignment Decisions

We assume that the location of the suppliers, plants and warehouses are known and has a capacity. Suppliers present have a key indicator performance – Overall Equipment Effectiveness OEE –. The costs to consider are: install cost and inventory cost at plants and warehouses, transport costs in a three-level supply chain and cost of raw material flow from suppliers to plants. Inventory costs are related with inventory policy in plants and warehouses, which is in function of assignment of the retailers to each warehouses, and the warehouses to each plant. Each retailer must be assigned to a warehouse. The problematic is to determinate the optimal number of plants and warehouses, their locations, the assignment of warehouses to plants, the retailers assigned to each warehouses and production flow from suppliers to plants, that minimize system costs and maximize Overall Equipment Effectiveness OEE of suppliers to the rest of the supply plants.

Overall Equipment Effectiveness OEE in Supplier-Plant Stage

Overall Equipment Effectiveness OEE presented in Equation (4) is a key performance indicator that monitors the actual performance of equipment relative to its performance capability under optimal operating conditions, which considers the six big losses in the manufacturing process – breakdown loss, setup and adjustment loss, reduced speed loss, minor stoppage loss, quality loss and start up loss—. OEE integrates these six big losses in three fundamental parameters of industrial production: availability, efficiency and quality. The availability takes into account time loss in scheduled production, e.g. adjustments, shortages of raw material, set-up time, and equipment failure. In many cases this time loss cannot be eliminated but can be reduced. The performance considers speed-manufacturing variations, e.g. minor stoppages, lower quality materials, and inefficient operation. The quality takes into account the quantity of products produced that does not meet quality standards, rework and scrap. These three parameters are sub concepts fundamental indicator of the actual performance of equipment relative to its performance capability under optimal operating conditions.

$$OEE_i = \left(\frac{et_i}{st_i} \right) \cdot \left(\frac{ct_i \cdot tp_i}{et_i} \right) \cdot \left(\frac{tp_i - td_i}{tp_i} \right) \quad (4)$$

Where:

- et_i : Effective production time supplier i
- st_i : Scheduled production time supplier i
- ct_i : Ideal cycle time supplier i
- tp_i : Total products produced supplier i
- td_i : Total defective products supplier i

Continuous Review based Inventory Control Policy (q, RP)

A continuous review inventory control policy (q, RP) is used at any warehouse and plant to meet a stochastic demand pattern, as usually considered in inventory-location models. Warehouse demand depends on customers assigned to each warehouse k , and plant demand depends on warehouses assigned to each plant j . *Fig. 2* shows inventory performance. When inventory level reaches reorder point RP , an order of q units of product is generated. The q units of product are received considering a lead-time LT , with a given probability. This policy does not penalize unfulfilled demands.

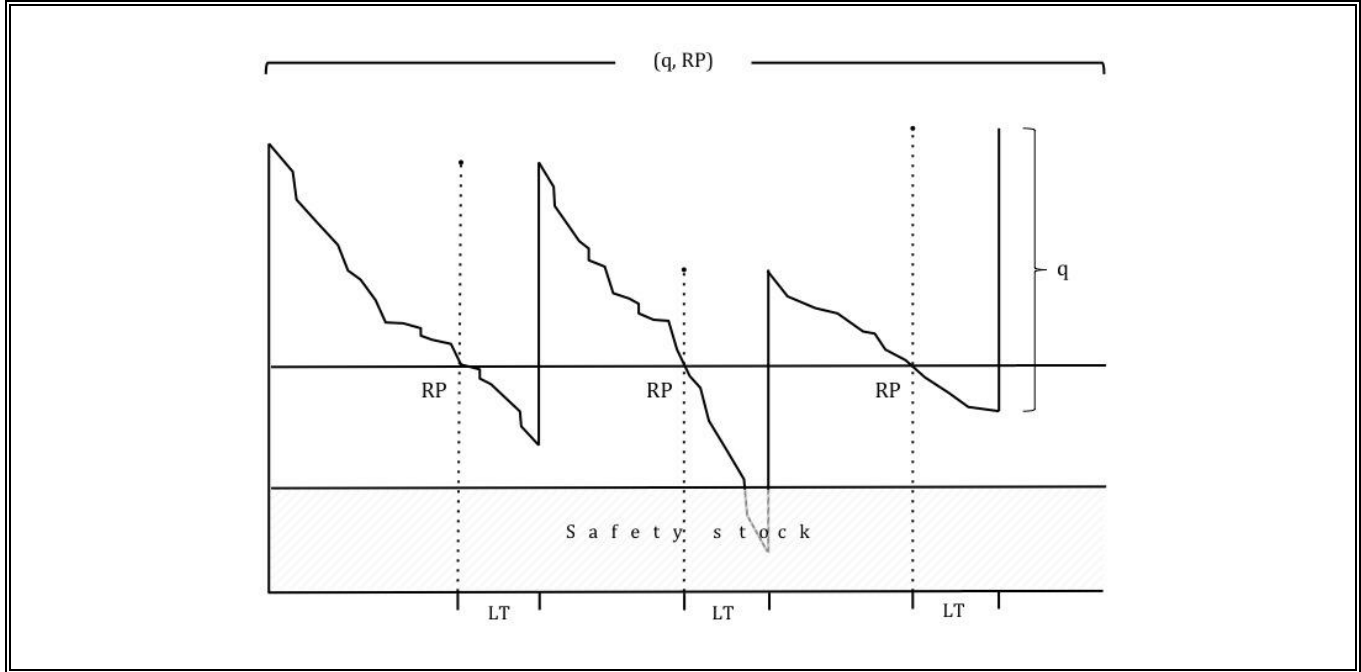


Fig. 2 Continuous Review Inventory Control Policy Performance

To calculate Working Inventory Cost WIC in Equation (7) is considered that the total inventory cost is given by

$$Total\ inventory\ cost = cd + \left(\frac{d}{q}\right)oc - \left(\frac{q}{2}\right)hc \quad (5)$$

Where cd : material cost, d : demand , q : order quantity, oc : ordering cost, and hc : inventory holding cost. Deriving Equation (5) with respect to q is obtained economic order quantity q^* present in Equation (6). Substituting Equation (6) in (5) is obtained WIC, which is considered in each plant and warehouse.

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot oc}{hc}} \quad (6)$$

$$WIC = \sqrt{2 \cdot oc \cdot hc \cdot d} \quad (7)$$

Assuming a normal distribution on demand, RP can be calculated according to Equation (8). Where ZT represents the value of the Normal Distribution (0,1) that accumulates a probability of $1-\alpha$. This probability (Equation 6) is known as security level associated with the safety stock.

$$\text{Prob}(d(LT) \leq RP) \geq 1 - \alpha \quad (8)$$

$$RP = d \cdot LT \cdot ZT \cdot \sqrt{u} \cdot \sqrt{LT} \quad (9)$$

RP is the amount of inventory that should be available in each plant and warehouse to absorb fluctuations in demand from retail and consumption during the lead-time, and is composed by the average demand in the lead-time $d \cdot LT$ and safety stock $ZT \cdot HC \cdot \sqrt{u} \cdot \sqrt{LT}$. The safety stock presents a

balance between the cost of not having stock, and the cost of holding safety stock. In this case it was not considered the cost of having no stock, only the cost of safety stock in each SSC plant or warehouse (Equation 7).

$$SSC = ZT \cdot HC \cdot \sqrt{u} \cdot \sqrt{LT} \quad (10)$$

Bi-Objective Problem Formulation

In this section we present mathematical formulation of the problem addressed in this paper. Section 3.2 presents a bi-objective nonlinear model of Supplier Selection in an Inventory Location Problem for a Three-level Supply Chain SS-ILPSC. Additionally, in section 3.3, a linear reformulation of problem constraints is presented. Then, in section 3.4, the nonlinear objective function is approximated by using a piecewise linear function, thus achieving a mixed integer linear model. The set of efficient solutions is obtained by the linear and nonlinear formulations using the epsilon-constraint method and the results are compared in terms of costs and OEE.

Notation and Definitions

Sets

- i : Index for supplier, $i=1,2,\dots,I$.
 j : Index for potential plant locations, $j=1,2,\dots,J$.
 k : Index for potential warehouse locations, $k=1,2,\dots,K$.
 l : Index for retailer, $l=1,2,\dots,L$.

- cp_j : Maximum capacity of plant j
 d_l : Mean demand for each retailer l
 FCp_j : Fixed cost of opening a plant at site j
 FCw_k : Fixed cost of opening a warehouse at site k
 HC_j : Inventory-holding cost per unit in plant j
 HC_k : Inventory-holding cost per unit in warehouse k
 LT_j : Deterministic lead time to plant j orders
 LT_k : Deterministic lead time to warehouse k orders
 OC_j : Ordering cost to plant j
 OC_k : Ordering cost to warehouse k
 OEE_i : Overall Equipment Effectiveness for the supplier i
 A_{jk} : Transportation unit cost from plant j to warehouse k
 B_{kl} : Transportation unit cost warehouse k retailer l
 UC_i : Unit cost of producing product for supplier i
 u_l : Mean variance for each retailer l
 $Z_{1-\alpha}$: Value of standard normal distribution, which accumulates a probability of $1-\alpha$

Decision variables

- w_{kl} : 1 if warehouse k serves retailer l ; 0 otherwise.
 x_k : 1 if warehouse k is opened; 0 otherwise.
 y_j : 1 if plant j is opened; 0 otherwise.
 z_{jk} : 1 if plant j serves warehouse k ; 0 otherwise.

Auxiliary variables

- β_{ij} : Number of units of product produced for supplier i and shipped to plant j
 δ_j : Mean demand to be assigned to plant j
 η_j : Variance of demand to be assigned to plant j
 λ_k : Mean demand to be assigned to warehouse k
 π_k : Variance of demand to be assigned to warehouse k

Parameters

- cs_i : Production capacity of supplier i
 cw_k : Maximum capacity of warehouse k

Non-linear Formulation for SS-ILPSC

We consider two objectives functions are optimized simultaneously, where $Z1$ minimize working inventory cost WIC, safety stock cost SIC, fixed costs in warehouses k and plants j , cost transport between stages and cost of production volume β_{ij} , and $Z2$ maximize Overall Equipment Effectiveness OEE of suppliers to the rest of the supply plants.

Where: $\tau_j = \sqrt{2 \cdot OC_j \cdot HC_j}$, $\varphi_j = Z_{1-\alpha} \cdot HC_j \cdot \sqrt{LT_j}$, $\psi_k = \sqrt{2 \cdot OC_k \cdot HC_k}$, and $\omega_k = Z_{1-\alpha} \cdot HC_k \cdot \sqrt{LT_k}$.

Thus, the problem is formulated as follows.

$$\text{Min } Z1 = \sum_{j=1}^J \left(FCP_j \cdot y_j + \tau_j \cdot \sqrt{\delta_j} + \varphi_j \cdot \sqrt{\eta_j} + \sum_{i=1}^I UC_i \cdot \beta_{ij} + \sum_{k=1}^K A_{jk} \cdot \lambda_k \cdot z_{jk} \right) + \sum_{k=1}^K \left(FCW_k \cdot x_k + \psi_k \cdot \sqrt{\lambda_k} + \omega_k \cdot \sqrt{\pi_k} + \sum_{l=1}^L B_{kl} \cdot d_l \cdot w_{kl} \right) \quad (11)$$

$$\text{Max } Z2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \beta_{ij} \cdot OEE_i \quad (12)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^K w_{kl} = 1 \quad \forall l = 1, \dots, L \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J z_{jk} = x_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (14)$$

$$\sum_{l=1}^L d_l \cdot w_{kl} = \lambda_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (15)$$

$$\sum_{l=1}^L u_l \cdot w_{kl} = \pi_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^K \delta_k \cdot z_{jk} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^K \eta_k \cdot z_{jk} = \eta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^I \beta_{ij} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (19)$$

$$\lambda_k \leq cw_k \cdot x_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (20)$$

$$\delta_j \leq cp_j \cdot y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^I \beta_{ij} \leq cp_j \cdot y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^J \beta_{ij} \leq cs_i \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (23)$$

$$w_{kl}, x_k, y_j, z_{jk} \in 0,1 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (24)$$

$$\beta_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i = 1, \dots, I, \forall j = 1, \dots, J \quad (25)$$

Equation (11) represents total system cost. First expression represents fixed cost if plant j is opened, working inventory cost, safety stock storage in each plant, the cost of units of product produced for supplier i and shipped to plant j , and transportation cost to plant j to warehouse k . Second expression corresponds to fixed cost if warehouse k is opened, safety stock storage, working inventory cost in each warehouse, and transportation cost to warehouse k to retailer l . Equation (12) represents the mean level of OEE of units of product produced for supplier i and shipped to plant j . Constraints (13) and (14) are assignation constraint. Constraint (13) ensures retailer assignation to a single warehouse and constraint (14) ensures assignation of localized warehouse to a plant. Constraints (15) and (16) aggregate retailers demand mean and variance for each warehouse. In the same way, constraints (17) and (18) aggregate warehouses demand and variance for each plant respectively. Constraint (19) establishes that total of product produced for one or more suppliers and shipped to each plant is equal to demand in each plant. Capacity constraints in warehouses, plants, and suppliers are presented in (20) - (23). Constraint (20) and (21) ensures demand mean of each warehouse and plant is minor or equal to its capacity. Constraint (22) establishes that total of product produced for one or more suppliers and shipped to each plant is minor or equal to capacity plant. Constraint (23) ensures total of product produced for supplier i and shipped to one or more plant, is minor or equal to capacity production of supplier i . Finally the restrictions (24) and (25) show the nature of the variables.

Linear Reformulation of Constraints

In this subsection, we present the reformulation of assignment restrictions. Specifically constraints (17), (18), which are nonlinear. A product of an integer auxiliary variable λ_k or φ_k and a binary decision variable z_{jk} is presented in these restrictions, e.g.

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot z_{jk} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (17)$$

According to constraint (15)

$$\sum_{l=1}^L d_l \cdot w_{kl} = \lambda_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (15)$$

In agreement with these arguments constraint (17) is reformulated as follows:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L d_l \cdot w_{kl} \cdot z_{jk} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (26)$$

Getting a nonlinear restriction that considers a product of two binary decision variables $w_{kl} \cdot z_{jk}$. The nonlinearity of constraint (26) is removed when is considering restriction (27), which generates a binary variable v_{jkl} , which ensures that if $w_{kl} = 1$ and $z_{jk} = 1$ the variable is $v_{jkl} = 1$, otherwise 0.

$$v_{jkl} \geq w_{kl} + z_{jk} - 1 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall k = 1, \dots, K, \forall l = 1, \dots, L \quad (27)$$

Substituting v_{jkl} for $w_{kl} \cdot z_{jk}$ in restriction (26), is obtained, a linear constraint (28) of the expression (17). The constraint (28) involves the product of a parameter d_l , and a binary variable decision v_{jkl} . By the same argument, constraint (18) is reformulated and presented in Equation (29).

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L d_l \cdot v_{jkl} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (28)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L u_l \cdot v_{jkl} = \eta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (29)$$

Linear Approximation of Objective Function

In this subsection is presented an approximation of the objective function ZI in terms of their costs associated with non-linear inventory control policy. The approach is based on a piecewise linear function PLF defined by two or more straight-line presented in different sections of the domain of the function Fig. 2. WIC and SIC in plants j and warehouses k are formulated as a piecewise linear function both contain constant elements and a nonlinear function that involves an integer auxiliary decision variable for example in Equation (30) WIC in the plant j .

$$WIC_j = \tau_{ij} \cdot \sqrt{\delta_j} \quad (30)$$

We have π_{ij} is a constant element and $\sqrt{\delta_j}$ a nonlinear function of the integer auxiliary decision variable. The function $\sqrt{\delta_j}$ is approximately linear to $D\delta_{j_{m-1}} \cdot E\delta_{jm} + SL\delta_{jm} \cdot F\delta_{jm}$ with $D\delta_{j_1} < D\delta_{j_2} < D\delta_{j_3} \dots < D\delta_{j_m}$ and $SL\delta_{j_1} > SL\delta_{j_2} > SL\delta_{j_3} \dots > SL\delta_{j_m}$, for $m = 1, \dots, M$ sections.

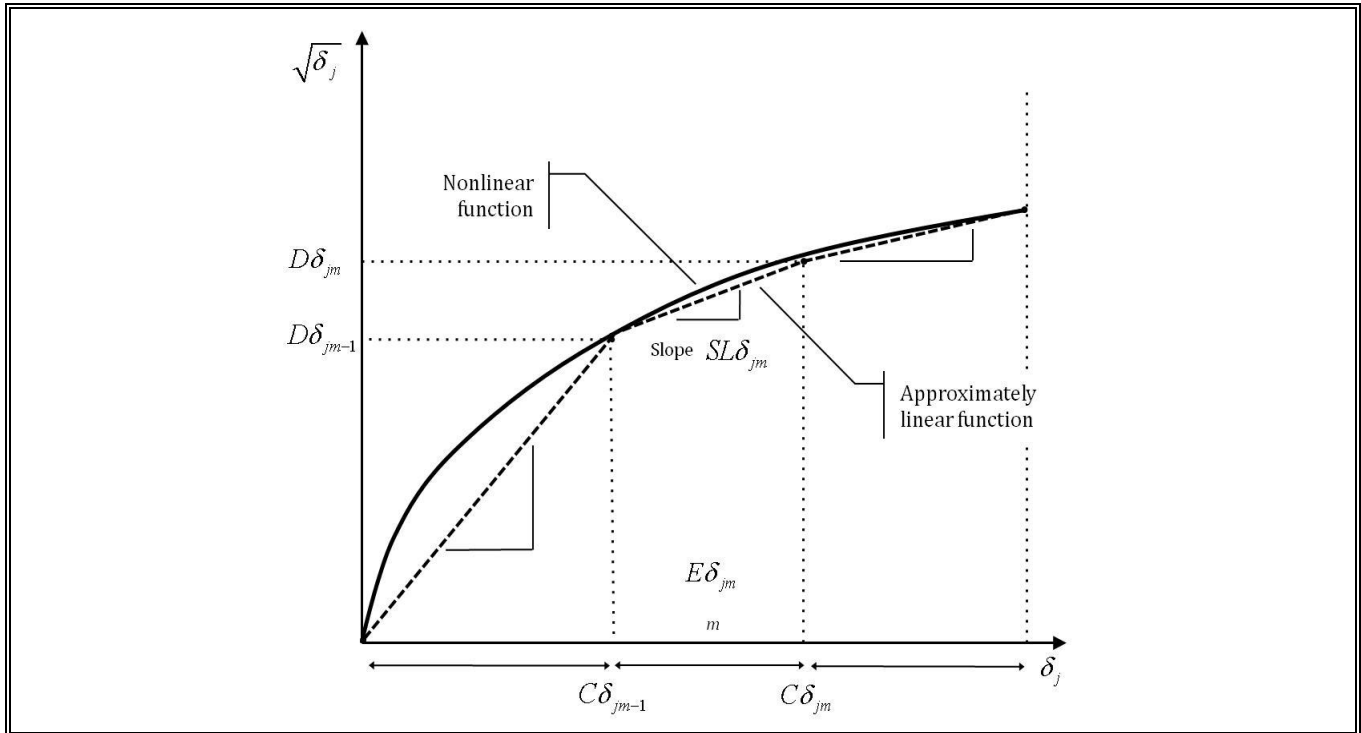


Fig. 3 Piecewise Linear Function (PLF) of WIC in the plant j

Where $C\delta_{jm}$: Value of δ_j at the section m ., $D\delta_{jm}$: Value of $\sqrt{\delta_j}$ at the section m ., $SL\delta_{jm}$: Slope at the section m of Piecewise Linear Function of $\sqrt{\delta_j}$, $E\delta_{jm}$: 1 if section m of piecewise linear function of $\sqrt{\delta_j}$ is opened; 0 otherwise, $F\delta_{jm}$: Units of δ_j to be considered at the section m ., y_j : 1 if plant j is opened; 0 otherwise.

Therefore Linear Approximation of WIC in each plant is:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \tau_j \cdot D\delta_{jm-1} \cdot E\delta_{jm} + SL\delta_{jm} \cdot F\delta_{jm} \quad (31)$$

Subject to:

$$\sum_{m=1}^M F\delta_{jm} + C\delta_{jm-1} \cdot E\delta_{jm} = \delta_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (32)$$

$$F\delta_{jm} < C\delta_{jm-1} \cdot E\delta_{jm} \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall m = 1, \dots, M \quad (33)$$

$$\sum_{m=1}^M E\delta_{jm} \leq y_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (34)$$

$$E\delta_{jm}, y_j \in 0,1 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall m = 1, \dots, M \quad (35)$$

Equation (31) represents a lineal approximation WIC of the plants j . Constraint (32) ensures that the average demand in the plant j is considered for linear approximation. Constraint (33) establishes that only a section m must be open in the linear approximation. Constraint (34) ensures that the linear approximation is carried out only in plants open. Finally the restriction (35) shows the nature of the variables. The same analysis is considered to generate the linear approximation of SSC in each plant, WIC in each warehouse and SSC in each warehouse.

Experimentation and results

In this section we present the evaluation of three models of SS-ILPSC: Non-linear Formulation NL, Linear Reformulation of Constraints LRC, and Linear Approximation for Inventory Related Costs LAIRC (this model includes LRC). The evaluation criteria are: the computational time, optimality, size of solved cases, distribution and dispersion of the Pareto front found.

Bi-Objective Solution Approach

The ε -constraint method is selected for solving the bi-objective problem, allowing obtaining the set Pareto-efficient solutions. According to ε -constraint method an objective is selected to be optimized, and the other objective is modeled as parametric constraints. In this case the restriction Z2 is incorporated as a parametric constraint, as shown in Equation (36).

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \beta_{ij} \cdot OEE_i \geq \varepsilon \quad (36)$$

The method of ε -constraint, investigates the changes in the optimal solution that are the result of predetermined variations in ε . It represents the average percentage of OEE in β_{ij} volume production.

Instance Definitions and Description

This sub section presents the test cases that were resolved in three different models (NL, LRC, and LAIRC). We used a license version Hyper Lingo 10 - Linear and Non linear Modeling- as algebraic modeling software to solve cases, in all cases we consider a same level of service. The size of the test cases presented below.

Table 4 Size of test cases SS-ILPSC

Problem Code		Nonlinear variables	Integers variables	Total variable
Inst.1	NL	24	191	222
	LRC	14	167	312
	LAIRC	0	233	433
Inst.2	NL	40	370	401
	LRC	24	342	367
	LAIRC	0	438	808
Inst.3	NL	35	285	335
	LRC	20	510	531
	LAIRC	0	590	900
Inst.4	NL	40	520	551
	LRC	24	492	517
	LAIRC	0	588	1058
Inst.5	NL	35	360	414
	LRC	20	681	660
	LAIRC	0	740	1100

Computational Results

Comparison Metrics

In this section shows the computational results of the NL, LRC, and LAIRC of Instance 1. Table 2 shows the value of the objective function ZI , computational time, and scope of optimality. The value of the objective function ZI of LAIRC is obtained by evaluation of the auxiliary and decision variables of LAIRC in NL, to avoid the error of the linear approximation LAIRC. For the evaluation of performance of the models, NL, LRC, and LAIRC is considered the distance and the distribution of efficient sets. Some metrics require knowledge of the optimal solutions of the Pareto front. In this problem the optimal solutions of the Pareto front are unknown. Given this limitation, we chose the following two measures: Non-uniformity of the distribution of efficient sets $D(A)$ and the ratio R_{POS} (dispersion of efficient set). Non-uniformity of the distribution of the Pareto front is measured by the value $D(A)$ given by distribution of the Euclidean distance (di) between two solutions along the Pareto front:

$$D(A) = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} Euc_dist(di, di+1)}{n-1} \quad (37)$$

When $D(A)=0$, the higher the value of $D(A)$ the greater the non-uniformity (spacing) of the front. Therefore be desired low values of $D(A)$. The ratio $R_{POS}(S_i)$ is used to compare more than two efficient sets. To make the computations a reference set R must be constructed with true union of the efficient solutions of all the r sets:

$$R = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_r \quad (38)$$

Then the dominated solutions are eliminated form set R to obtain ser P :

$$P = \{s \in R \mid \nexists q \in R: q \prec s\} \tag{39}$$

The $R_{POS}(S_i)$ metric is calculated with Equation (40)

$$R_{POS}(S_i) = \frac{|\{s \in S_i \mid s \in P\}|}{|S_i|} \tag{40}$$

The metric indicates the ratio of points from the set S_i that belong to the reference efficient set P . A higher value of this metric is better. Presented with the metric $|S_i|$ it indicates the quality of the approximate efficient set obtained.

Results Model Evaluation

In Instance 1, NL and LRC reach local optimal solutions, and LAIRC reaches global optimal solutions. When we evaluate in LRC $\varepsilon = 69\%$ to $\varepsilon = 77\%$ does not converge to try to find a solution in these case we consider a computational time equal to 00:00:00. The reached time limit was setting in 5 hours of computational time.

Table 5 Non-dominated solutions Instance 1

ε	Objective Function Z1			Computational Time		
	NL	LRC	LAIRC	NL	LRC	LAIRC
63%	\$5,331,234	\$5,331,234	\$5,331,234	00:00:13	00:01:32	00:00:09
64%	\$5,331,659	\$5,331,279	\$5,331,279	00:00:02	00:00:20	00:00:10
65%	\$5,331,659	\$5,331,362	\$5,331,362	00:00:07	00:00:29	00:00:07
66%	\$5,331,659	\$5,331,444	\$5,331,444	00:00:05	00:00:48	00:00:09
67%	\$5,331,659	\$5,331,549	\$5,331,549	00:00:22	00:01:05	00:00:11
68%	\$5,331,659	Reached time limit	\$5,331,659	00:00:08	-	00:00:10
69%	\$5,334,783	Reached time limit	\$5,331,769	00:00:13	-	00:00:09
70%	\$5,334,783	\$5,331,879	\$5,331,879	00:00:09	00:00:26	00:00:05
71%	\$5,334,783	Reached time limit	\$5,332,017	00:00:12	-	00:00:08
72%	\$5,334,783	Reached time limit	\$5,332,154	00:00:12	-	00:00:12
73%	\$5,334,783	\$5,332,292	\$5,332,292	00:00:11	00:00:36	00:00:06
74%	\$5,334,783	Reached time limit	\$5,332,434	00:00:09	-	00:00:13
75%	\$5,334,783	\$5,332,599	\$5,332,599	00:00:12	00:05:31	00:00:14
76%	\$5,875,139	\$5,332,814	\$5,332,814	00:00:03	00:00:26	00:00:09
77%	\$5,875,139	\$5,333,034	\$5,333,034	00:00:02	00:23:14	00:00:06
78%	No feasible solution	No feasible solution	No feasible solution	-	-	-
				Total Computational Time		
				0:02:20	0:34:27	0:02:18

Figure 4 shows the Pareto front obtained of NL, LRC, and LAIRC models in the Instance 1. The objective function values $\varepsilon = 69\% - 77\%$ of NL model were not plotted in Fig. 4, because the values are so great that the figure loses detail on the remainder of costs evaluated. In Fig. 4, P R_{pos} is reference efficient set P . In Table 3 is present resume metric values of instances of NL, LRC, and LAIRC models with metrics $R_{POS}(S_i)$ and $D(A)$.

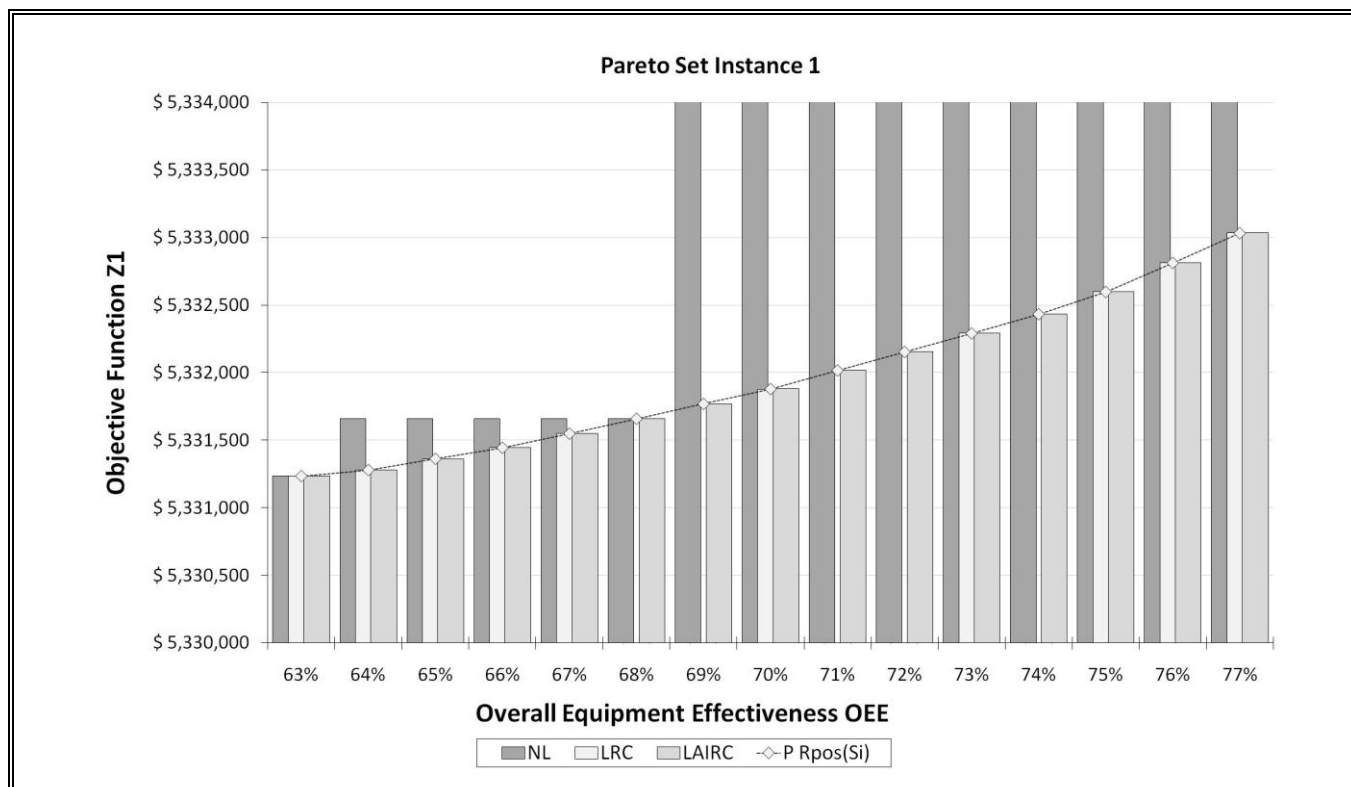


Fig. 4 Pareto set Instance 1

Table 6 Resume Metric Values $R_{POS}(S_i)$ and $D(A)$

Evaluation		NL	LRC	LAIRC
Inst. 1	Number solutions	15	10	15
	$D(A)$	38851.143	200.007	128.575
	$R_{POS}(S_i)$	0.1333	1	1
	Total Computational Time	0:02:20	0:34:27	0:02:18
Inst. 2	Number solutions	12	9	13
	$D(A)$	47087.818	124.253	113.838
	$R_{POS}(S_i)$	0.08333	0.8889	1
	Total Computational Time	0:18:30	1:13:31	0:16:49
Inst. 4	Number solutions	11	11	11
	$D(A)$	86164.5	182.201882	181.903
	$R_{POS}(S_i)$	0.09090	0.7273	1
	Total Computational Time	05:45:41	05:37:46	02:03:45
Inst. 3	Number solutions	7	8	11
	$D(A)$	224884.333	465.288358	181.903
	$R_{POS}(S_i)$	0	0.375	1
	Total Computational Time	00:07:31	00:34:42	01:16:38
Inst. 5	Number solutions	0	0	8
	$D(A)$	-	-	254.002
	$R_{POS}(S_i)$	-	-	1
	Total Computational Time	-	-	07:23:30

Conclusions and Final Remarks

Summary of Contributions

An integration of Supplier Selection in an Inventory Location Problem for a Three-level Supply Chain SS-ILPSC, considering a stochastic demand with Risk-pooling has been presented. The policy of continuous review of inventory, vendor selection and network design decisions are strategic and tactical problems that are studied concurrently. SS-ILPSC is modeled as a mixed integer nonlinear bi-objective model. The model is nonlinear due to the consideration of three levels of the supply chain and the unique assignment in two levels of the supply chain. Moreover, by including the policy of continuous review of inventory, necessarily involved nonlinear terms, which makes the problem even harder to solve, if we want to work directly with the original model obtained. The mixed integer nonlinear bi-objective model is reformulated using a piecewise linear function, thereby achieving a mixed integer linear model (LAIRC and LRC). Several instances are solved using the epsilon-constraint method with the linear and nonlinear models, and the results are compared in terms of performance and quality of the Pareto fronts. The main advantage of the approach bi objective is to obtain a set of solutions with several alternatives available that allows the analyst to decision making. In this way it is possible to choose one of them and immediately know the cost associated with the decision without having to solve an optimization problem again.

Results and Conclusions

The benefit of using a mixed integer linear model of SS-ILPSC, lies in the ability to solve the total global optimality instances reaching proposals and a considerably smaller computational time compared to NL and LRC models. However linearization is often not obvious and very time consuming, but may work better by increasing the number of elements in the instance. In counterpart to resolve NL and LRC models, local optimal solutions were obtained, and in some cases both models do not converge or have no infeasibility. To evaluate the performance of the models we used two quantitative performance metrics: $R_{POS}(S_i)$ distribution and $D(A)$ dispersion of the solution in the Pareto set. We can see that LAIRC appreciably improve the convergence towards efficient set P and distribution of its solutions. The difference in performance is also reflected in the variation of the metric with respect to the number of solutions obtained where LAIRC has the greatest number of solutions (Table 3). LAIRC presents a better efficient and reliable Pareto set in SS-ILPSC according $R_{POS}(S_i)$ and $D(A)$

Limitations and Future Research

Experiments conducted allowed us to know the structure of the problem and their behavior. Clearly, the resolution of the model through its direct entry into commercial optimizers is not the best when it comes to test cases of large sizes, so it was decided to consider in the future methods for the solution of large-integer scale (ie, Lagrangian Relaxation, Bender decompositions, or Cutting Plans). Nevertheless, optimization techniques must Considered Allowing Facilitate collaboration for distributed decision making in logistic network design and management.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by Programa **para el** Mejoramiento del Profesorado PROMEP grant ITESUR-001 Charter No. PROMEP/103.5/10/5709.

REFERENCES

- Alper Atamtürk, Gemma Berenguer, Shen Zuo-Jun Max. (2012). "A Conic Integer Programming Approach to Stochastic Joint Location-Inventory Problems." *Journal Operations Research* 60 (2), 366–381.
- Altıparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. (2006). "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks." *Computers & Industrial Engineering*, 51:197–216.
- Anand S., Relkarand, K.N., Nandurkar (2012). "Optimizing & Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE)." *Procedia Engineering* 38 (0): 2973-2980.
- Chan, F.T.S., 2003. "Interactive selection model for supplier selection process: An analytical hierarchy process approach." *International Journal of Production Research* 41 (15), 3549–3579.
- Chandrajit P. Ahire, Anand S. Relkar (2012). "Correlating Failure Mode Effect Analysis (FMEA) & Overall Equipment Effectiveness (OEE)." *Procedia Engineering* 38 (0): 3482-3486.
- Chopra S., Meindl P. (2001). "Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación. Pearson Prentice Hall. (2001).
- Coyle, J. J., Bardi E. J., Langley Jr. J. C. (1992). "The Management of Business Logistics." St. Paul, West.
- Daskin M., Coullard C., Shen Z. (2002). "An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results." *Annals of Operations Research*, 110: 83-106.
- De Ron A.J., Rooda J.E. (2006). "OEE and equipment effectiveness: an evaluation." *International Journal of Production Research*.44 (23): 4987-5003.
- Erlebacher S.J., Meller R.C. (2000). "The interaction of location and inventory in designing distribution systems." *IIE Transactions*, 32: 155–166.
- Erlebacher S.J., Meller R.D. (2000). "The interaction of location and inventory in designing distribution systems." *IIE Transactions* 32 155–166.
- Gaur S., Ravindran A. (2006). "A bi-criteria model for the inventory aggregation problem under risk pooling." *Computers & Industrial Engineering*, 51: 482-501.
- Jae-Hun Kang, Yeong-Dae Kim. (2012). "Inventory control in a two-level supply chain with risk pooling effect." *International Journal of Production Economics* 135 (1), 116–124.
- Jayaraman, V. (1998). "Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 18(5): 471-494.
- Junyan Wang, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang (2008). "Fuzzy Programming Models for Vendor Selection Problem in a Supply Chain." *Tsinghua Science & Technology*.13 (1): 106-111.

- Madhavan Pillai E., Paul Robert T., Rajmohan M. (2011). "Study on the Influence of Human Factors on Overall Equipment Effectiveness." *European Journal of Scientific Research* 53 (2): 179-192.
- Mak Ho-Yin, Shen Zuo-Jun Max. (2009). "A two-echelon inventory-location problem with service considerations." *Naval Research Logistics* 56 (8), 1520–6750.
- Maran M., Manikandan G., Thiagarajan K. (2012). "Fuzzy Expert System for Plant Overall Equipment Effectiveness." *European Journal of Scientific Research* 83 (3): 430-438.
- Melo M.T., Nickel S., Saldanha-da-Gama F. (2009). "Facility location and supply chain management – A review." *European Journal of Operational Research*, 196: 401–412.
- Miranda P., Garrido R. (2009). "Inventory service-level optimization within distribution network design problem." *International Journal of Production Economics* 122 (1), 276–285.
- Miranda P.A, Garrido R.A. (2004). "Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network model with stochastic demand." *Transportation Research Part E*: 40, 183-207.
- Miranda P.A., Garrido R.A. (2006). "A Simultaneous Inventory Control and Facility Location Model with Stochastic Capacity Constraints." *Networks and Spatial Economics*, 6(1): 39 - 53.
- Miranda, P. A., Garrido R. A. (2008). "Valid inequalities for Lagrangian relaxation in an inventory location problem with stochastic capacity." *Transportation Research Part E, Logistics & Transportations Review*, 44(1): 47-65.
- Miranda P.A, Garrido R.A. (2009). "e-Work based collaborative optimization approach for strategic logistic network design problem" *Computers & Industrial Engineering* 57 (1), 3–13.
- Mourits, M., J. Evers (1995). "Distribution Network Design: An Integrated Planning Support Framework." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25: 43-57.
- Nozick L.K., Turnquist M.A. (2010). "Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers." *European Journal of Operational Research* 129 (2), 362–371.
- Nozick, L.K. (2001). "The fixed charge facility location problem with coverage restriction." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37: 281-296.
- Nozick, L.K., Turnquist M.A. (1998). "Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34, 173–186.
- Nozick, L.K., Turnquist M.A. (2001). "A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis." *Transportation Research Part E, Logistics & Transportations Review*, 37(6): 425-441.
- Olivares-Benítez, González-Velarde, Ríos-Mercado Roger Z. (2010). "A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices," *TOP*, 10.1007/s11750-010-0162-8, 1–25.
- Olivares-Benítez, González-Velarde, Ríos-Mercado Roger Z. (2013). "A metaheuristic algorithm to solve the selection of transportation channels in supply chain design." *International Journal of Production Economics*, 10.1016/j.ijpe.2013.01.017.

- Ozsen L. (2004). "Location-Inventory Planning Models: Capacity Issues and Solution Algorithms." PhD Dissertation, Northwestern University, IL. 2004.
- Ozsen, L., Daskin M. S., Coullard C. (2008). "Capacitated Facility Location Model with Risk Pooling." *Naval Research Logistics*, 55:4, 295-312.
- Park Sukun, Lee Tae-Eog, Sung Chang Sup. (2010). "A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (5), 563–581.
- Sabri E.H., Beamon B.M. (2000). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design." *Omega*, 28: 581–598.
- Samuel H. Huang, John P. Dismukes, J. Shi, Qi Su, Ge Wang, Mousalam A. Razzak, D., Eugene Robinson (2002). "Manufacturing system modeling for productivity improvement." *Journal of Manufacturing Systems*. 21 (4): 249-259.
- Samuel H. Huang, John P. Dismukes, J. Shi, Qi Su, Mousalam A. Razzak, Rohit Bodhale and D. Eugene Robinson (2003). "Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis." *International Journal of Production Research* 41 (3): 513-527.
- Shen Z.-J.M., Coullard C., Daskin M.S. (2003). A joint location-inventory model. *Transportation Science*, 37: 40–55.
- Shen Z.-J.M., Daskin M.S. (2005). "Trade-offs between customer service and cost in integrated supply chain design." *Manufacturing and Service Operations Management*, 7(3): 188-207.
- Shen Z.-J.M., L. Qi (2007). "Incorporating inventory and routing costs in strategic location models." *European Journal of Operational Research*, 179(2): 372–389.
- Shu J., Teo C.-P., Shen Z.-J.M. (2005). "Stochastic transportation-inventory network design problem." *Operations Research* 53 48–60.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky P., Simchi-Levi E. (2003). "Designing and Managing the Supply Chain." New York, Irwin/McGraw-Hill.
- Snyder L.V., Daskin M.S., Teo C.-P. (2007). "The stochastic location model with risk pooling." *European Journal of Operational Research* 179 1221–1238.
- Tancrez Jean-Sébastien, Lange Jean-Charles, Pierre Semal. (2012). "A location-inventory model for large three-level supply chains." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48 (2), 485–502.
- Wu Desheng, Olson David L. (2008). "Supply chain risk, simulation, and vendor selection." *International Journal of Production Economics*. 114 (2): 646-655.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una integración de la selección de proveedores en un problema de localización inventario en una cadena de suministro de tres niveles SS-ILPSC, considerando una demanda estocástica bajo una política de integración de riesgo ha sido presentada. Donde la política de revisión continua de inventarios, selección de proveedores y diseño de red de distribución, siendo estos problemas estratégicos y tácticos, han sido estudiados de manera simultánea. De inicio se presenta un modelo no lineal NL debido a la consideración de los tres niveles de la cadena de suministro y la asignación única en dos niveles de la cadena de suministro. Por otra parte, mediante la inclusión de la política de revisión continua de inventarios se ven involucrados términos no lineales en una función objetivo lo que genera un problema aún más difícil de resolver, si se desea trabajar directamente con el modelo no lineal obtenido. Posteriormente NL se reformula mediante una inclusión de una nueva variable que permite la linealización de las restricciones LRC y usando una función lineal por tramos se obtiene un modelo lineal entero mixto LAIRC. El enfoque de solución bi-objetivo de los tres modelos NL, LRC y LAIRC fue mediante el uso del método ϵ -restricción. La principal ventaja del enfoque bi-objetivo es el de obtener un conjunto de soluciones con varias alternativas disponibles que permite que el analista pueda considerar un panorama amplio de soluciones y conocer inmediatamente el costo asociado con cada decisión sin tener que resolver un problema de optimización nuevamente.

Cuando se trató el modelo lineal entero mixto LAIRC de SS-ILPSC se observó que la ventaja reside en la capacidad de solución del total de las instancias propuestas alcanzando soluciones del tipo óptimo global en un tiempo computacional considerablemente menor en comparación con los modelos de LRC y NL. Sin embargo, la linealización a menudo no es evidente y consume mucho tiempo pero puede funcionar mejor al incrementar el número de elementos en las instancias. En contraparte, al resolver los modelos LRC y NL se obtuvieron soluciones del tipo óptimo local y en algunos casos los modelos no convergen u obtienen una solución no factible. De acuerdo a la evaluación del desempeño de modelos mediante las métricas $R_{POS}(S_i)$ y $D(A)$ podemos observar que LAIRC cuenta con una notable convergencia hacia el eficiente frente de Pareto obtenido y una mejor distribución de sus soluciones en comparación de los modelos NL y LRC. La diferencia en el rendimiento también se refleja respecto al número de soluciones obtenidas donde LAIRC tiene el mayor número de soluciones. Por lo tanto LAIRC presenta un mejor y confiable frente de Pareto en SS-ILPSC de acuerdo a las métricas $R_{POS}(S_i)$ y $D(A)$

De acuerdo a la experimentación se llegó a conocer la estructura del problema y su comportamiento. Es evidente que tratar de abordar del modelo de manera exacta, usando optimizadores comerciales no es lo mejor cuando se trata de instancias de gran tamaño, es por eso que se recomienda tener en cuenta en trabajos futuros utilizar métodos de solución de gran escala, por ejemplo, Relajación de Lagrange, Descomposición de Bender, Método de Planos Cortantes, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alper Atamtürk, Gemma Berenguer, Shen Zuo-Jun Max. (2012). “A Conic Integer Programming Approach to Stochastic Joint Location-Inventory Problems.” *Journal Operations Research* 60 (2), 366–381.
2. Altiparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. (2006). “A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks.” *Computers & Industrial Engineering*, 51:197–216.
3. Anand S., Relkarand, K.N., Nandurkar (2012). “Optimizing & Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE).” *Procedia Engineering* 38 (0): 2973-2980.
4. Chan, F.T.S., 2003. “Interactive selection model for supplier selection process: An analytical hierarchy process approach.” *International Journal of Production Research* 41 (15), 3549–3579.
5. Chandrajit P. Ahire, Anand S. Relkar (2012). “Correlating Failure Mode Effect Analysis (FMEA) & Overall Equipment Effectiveness (OEE).” *Procedia Engineering* 38 (0): 3482-3486.
6. Chopra S., Meindl P. (2001). “Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación. Pearson Prentice Hall. (2001).
7. Coyle, J. J., Bardi E. J., Langley Jr. J. C. (1992). “The Management of Business Logistics.” St. Paul, West.
8. Daskin M., Coullard C., Shen Z. (2002). “An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results.” *Annals of Operations Research*, 110: 83-106.
9. De Ron A.J., Rooda J.E. (2006). “OEE and equipment effectiveness: an evaluation.” *International Journal of Production Research*.44 (23): 4987-5003.
10. Erlebacher S.J., Meller R.C. (2000). “The interaction of location and inventory in designing distribution systems.” *IIE Transactions*, 32: 155–166.
11. Erlebacher S.J., Meller R.D. (2000). “The interaction of location and inventory in designing distribution systems.” *IIE Transactions* 32 155–166.
12. Gaur S., Ravindran A. (2006). “A bi-criteria model for the inventory aggregation problem under risk pooling.” *Computers & Industrial Engineering*, 51: 482-501.
13. Jae-Hun Kang, Yeong-Dae Kim. (2012). “Inventory control in a two-level supply chain with risk pooling effect.” *International Journal of Production Economics* 135 (1), 116–124.
14. Jayaraman, V. (1998). "Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 18(5): 471-494.
15. Junyan Wang, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang (2008). “Fuzzy Programming Models for Vendor Selection Problem in a Supply Chain.” *Tsinghua Science & Technology*.13 (1): 106-111.

16. Madhavan Pillai E., Paul Robert T., Rajmohan M. (2011). "Study on the Influence of Human Factors on Overall Equipment Effectiveness." *European Journal of Scientific Research* 53 (2): 179-192.
17. Mak Ho-Yin, Shen Zuo-Jun Max. (2009). "A two-echelon inventory-location problem with service considerations." *Naval Research Logistics* 56 (8), 1520–6750.
18. Maran M., Manikandan G., Thiagarajan K. (2012). "Fuzzy Expert System for Plant Overall Equipment Effectiveness." *European Journal of Scientific Research* 83 (3): 430-438.
19. Melo M.T., Nickel S., Saldanha-da-Gama F. (2009). "Facility location and supply chain management – A review." *European Journal of Operational Research*, 196: 401–412.
20. Miranda P., Garrido R. (2009). "Inventory service-level optimization within distribution network design problem." *International Journal of Production Economics* 122 (1), 276–285.
21. Miranda P.A, Garrido R.A. (2004). "Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network model with stochastic demand." *Transportation Research Part E*: 40, 183-207.
22. Miranda P.A., Garrido R.A. (2006). "A Simultaneous Inventory Control and Facility Location Model with Stochastic Capacity Constraints." *Networks and Spatial Economics*, 6(1): 39 - 53.
23. Miranda, P. A., Garrido R. A. (2008). "Valid inequalities for Lagrangian relaxation in an inventory location problem with stochastic capacity." *Transportation Research Part E, Logistics & Transportations Review*, 44(1): 47-65.
24. Miranda P.A, Garrido R.A. (2009). "e-Work based collaborative optimization approach for strategic logistic network design problem" *Computers & Industrial Engineering* 57 (1), 3–13.
25. Mourits, M., J. Evers (1995). "Distribution Network Design: An Integrated Planning Support Framework." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25: 43-57.
26. Nozick L.K., Turnquist M.A. (2010). "Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers." *European Journal of Operational Research* 129 (2), 362–371.
27. Nozick, L.K. (2001). "The fixed charge facility location problem with coverage restriction." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37: 281-296.
28. Nozick, L.K., Turnquist M.A. (1998). "Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34, 173–186.
29. Nozick, L.K., Turnquist M.A. (2001). "A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis." *Transportation Research Part E, Logistics & Transportations Review*, 37(6): 425-441.
30. Olivares-Benítez, González-Velarde, Ríos-Mercado Roger Z. (2010). "A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices," *TOP*, 10.1007/s11750-010-0162-8, 1–25.

31. Olivares-Benítez, González-Velarde, Ríos-Mercado Roger Z. (2013). "A metaheuristic algorithm to solve the selection of transportation channels in supply chain design." *International Journal of Production Economics*, 10.1016/j.ijpe.2013.01.017.
32. Ozsen L. (2004). "Location-Inventory Planning Models: Capacity Issues and Solution Algorithms." PhD Dissertation, Northwestern University, IL. 2004.
33. Ozsen, L., Daskin M. S., Coullard C. (2008). "Capacitated Facility Location Model with Risk Pooling." *Naval Research Logistics*, 55:4, 295-312.
34. Park Sukun, Lee Tae-Eog, Sung Chang Sup. (2010). "A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (5), 563–581.
35. Sabri E.H., Beamon B.M. (2000). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design." *Omega*, 28: 581–598.
36. Samuel H. Huang, John P. Dismukes, J. Shi, Qi Su, Ge Wang, Mousalam A. Razzak, D., Eugene Robinson (2002). "Manufacturing system modeling for productivity improvement." *Journal of Manufacturing Systems*. 21 (4): 249-259.
37. Samuel H. Huang, John P. Dismukes, J. Shi, Qi Su, Mousalam A. Razzak, Rohit Bodhale and D. Eugene Robinson (2003). "Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis." *International Journal of Production Research* 41 (3): 513-527.
38. Shen Z.-J.M., Coullard C., Daskin M.S. (2003). A joint location-inventory model. *Transportation Science*, 37: 40–55.
39. Shen Z.-J.M., Daskin M.S. (2005). "Trade-offs between customer service and cost in integrated supply chain design." *Manufacturing and Service Operations Management*, 7(3): 188-207.
40. Shen Z.-J.M., L. Qi (2007). "Incorporating inventory and routing costs in strategic location models." *European Journal of Operational Research*, 179(2): 372–389.
41. Shu J., Teo C.-P., Shen Z.-J.M. (2005). "Stochastic transportation-inventory network design problem." *Operations Research* 53 48–60.
42. Simchi-Levi, D., Kaminsky P., Simchi-Levi E. (2003). "Designing and Managing the Supply Chain." New York, Irwin/McGraw-Hill.
43. Snyder L.V., Daskin M.S., Teo C.-P. (2007). "The stochastic location model with risk pooling." *European Journal of Operational Research* 179 1221–1238.
44. Tancrez Jean-Sébastien, Lange Jean-Charles, Pierre Semal. (2012). "A location-inventory model for large three-level supply chains." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48 (2), 485–502.
45. Wu Desheng, Olson David L. (2008). "Supply chain risk, simulation, and vendor selection." *International Journal of Production Economics*. 114 (2): 646-655.

APÉNDICE



5 a 10 de Fevereiro de 2012 – Bento Gonçalves, RS – Brasil

CERTIFICADO

A Asociación Latino-Iberoamericana de Investigación Operativa (ALIO), promotora da XVI Escuela Latinoamericana de Verano en Investigación Operativa (XVI ELAVIO), cujo tema foi "Os desafios da pesquisa operacional num mundo em evolução", certifica que

Aaron Guerrero Campanur

participou de todas as atividades da escola – palestras, tutoriais, apresentações de alunos e reuniões de trabalho, totalizando 40 horas – e apresentou o trabalho "*Diseño de cadena de suministro multi-objetivo de localización-inventario y selección de proveedores bajo un ambiente de integración de riesgo*" no período de sua realização.

Luciana Salette Buñol
Coordenação geral da XVI ELAVIO - UFRGS

Marcela González Araya
Presidente da ALIO - UTALCA

Realização



Apoio





CERTIFICATE

Hereby SOBRAPO and ALIO certifies that

Aaron Guerrero

attended the XVI Latin-Ibero-American Conference on Operations Research and XLIV Brazilian Symposium on Operations Research, held in Rio de Janeiro (RJ), Brazil, September 24th to 28th, 2012, with the full paper "**Diseño de cadena de suministro bi-objetivo de localización-inventario y selección de proveedores bajo un ambiente de integración de riesgo**".

Co-authored with:

Elias Olivares-Benitez and Pablo Miranda

Presidente da SOBRAPO

Organizadores



Apoio

