En español

Modelo para la coordinación de agentes en un sistema logístico de la industria astillera colombiana

Wilson Adarme Jaimes[1], Martín Darío Arango Serna[2], Delio Alexander Balcázar[3]

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de una investigación llevada a cabo por los grupos de investigación SEPRO y GICO, de la Universidad Nacional, en la industria astillera colombiana, que busca coordinar agentes autónomos en una cadena de suministro (CS) en un entorno descentralizado, donde los compradores (astilleros) tienen una configuración productiva por proyectos. Con este fin se desarrolló un modelo exacto de programación lineal multicriterio para reducir el déficit en el cumplimiento de la demanda y minimizarle el costo logístico a todos los miembros de la CS, considerando la autonomía inherente a sus integrantes y la necesidad de coordinar su operación logística, mediante el conocimiento de la demanda de clientes y la capacidad de los proveedores en los períodos del horizonte de planeación. El modelo propuesto logró disminuir los costos totales en un 0,047% de unidades monetarias, además de identificar en forma explícita los costos logísticos para una cadena tan compleja.

Palabras clave: coordinación, cadena de suministro, descentralización, planeación.

Recibido: junio 02 de 2011
Aceptado: julio 24 de 2011

Introducción

En el contexto logístico Simchi Levi (2003) define la administración de CS como la integración efectiva de proveedores, productores, almacenes y tiendas, de manera que las mercancías sean producidas y distribuidas en las cantidades y lugares adecuados y en el tiempo justo, buscando minimizar el costo total del sistema, mientras se satisfacen los requerimientos de servicio. La integración de la CS en la actualidad es considerada un instrumento importante para construir y sostener ventajas competitivas (Yan *et al.,* 2008).

La coordinación de las actividades logísticas es un proceso de gestión de dependencias entre las actividades desarrolladas al interior de una CS, atendiendo prerrequisitos esenciales para

[1] Ingeniero Industrial, Universidad Industrial de Santander. Especialista de la gestión de la producción, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Magíster en Ingeniería, Universidad de Valle. Candidato a doctor, Universidad Nacional de Colombia. Profesor asistente, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. wadarmej@unal.edu.co
[2] Ingeniero Industrial, Especialista en Finanzas, Magister en Ingeniería, Doctor en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia—Sede Medellín, Colombia. mdarango@unalmed.edu.co
[3] Ingeniero Industrial, Candidato a Magister en Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Asesor empresarial e investigador de la línea de logística y gestión de la cadena de abastecimiento del grupo SEPRO, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. alexefr@gmail.com

In English

A coordination agents' model for the Colombian shipbuilding industry's logistics system

Wilson Adarme Jaimes[4], Martín Darío Arango Serna[5], Delio Alexander Balcázar[6]

ABSTRACT

This paper presents the results of research carried out by the GICO and SEPRO research groups affiliated to the Universidad Nacional de Colombia regarding the Colombian shipbuilding industry to coordinate autonomous agents in a supply chain (SC), in a decentralised environment, where buyers (shipbuilders) have a project system setting production. An exact multi-criteria linear programming model was developed for this purpose; it was aimed at reducing the deficit in meeting demand and minimising logistical costs incurred by all SC members, considering autonomy as being inherent to them, and the need to coordinate logistical operation through knowledge of customer demand and suppliers' target planning ability. The proposed model was able to reduce total costs by 0,047% monetary units, and explicitly identify logistical costs as a chain complex.

Keywords: coordination, supply chain, decentralisation, planning.

Received: June 2th 2011
Accepted: July 24th 2011

Introduction

A logistics context (Simchi Levi, 2003) defines supply chain (SC) administration as the effective integration of suppliers, manufacturers, warehouses and stores, so that goods are produced and distributed in the right quantities and locations at the right time, for minimising total system cost, while meeting customer service requirements. SC integration is nowadays considered an important tool for ensuring competitive advantage (Yan *et al*., 2008).

SC agent coordination depends on managing dependencies between activities within a SC, following essential prerequisites for its successful management (Lambert & Cooper, 2000). Other researchers, such as Speakman (Speakman *et al*., 1998) have

[1] Industrial Engineer, Universidad Industrial de Santander. Specialist production management , Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Master of Engineering , Universidad de Valle. Ph.D. candidate , Universidad Nacional de Colombia. Assistant Professor , Universidad Nacional de Colombia, Colombia. wadarmej@unal.edu.co
[2] Industrial Engineer, Specialist in Finance, Master in Engineering, PhD in Industrial Engineering. Universidad Nacional de Colombia. Professor, Universidad Nacional de Colombia—Sede Medellín, Colombia. mdarango@unalmed.edu.co
Industrial Engineering, Masters Candidate in Industrial Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Business consultant and researcher at the line of logistics and supply chain group SEPRO, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. alexefr@gmail.com

En español

una gestión exitosa de ésta (Lambert *et al.*, 2000). Otros investigadores (Speakman *et al.*, 1998) sostienen que sólo mediante estrechos vínculos de colaboración por medio de la CS se pueden alcanzar los beneficios de la reducción de costos y mejorar el comportamiento de ingresos. Según Arshinder *et al.* (2008), la coordinación en una CS incrementa las ventas, disminuye los tiempos de entrega y los excesos de inventario y costos; mejora el servicio al cliente, la flexibilidad y los ingresos, y permite un aumento en la capacidad de retención de los clientes.

En la industria marítima los astilleros desempeñan un papel esencial, por cuanto ofrecen servicios de construcción y reparación de artefactos navales, donde no se encuentran metodologías detalladas, ni modelos de coordinación de agentes, particularmente en Colombia. Esta condición hace significativa la propuesta aquí descrita, teniendo en cuenta que el transporte marítimo es uno de los principales pilares de la economía y el comercio mundial, pues el comercio por el mar representa cerca del 95% del total de las operaciones globales (Gómez, 2010).

El modelo de coordinación entre agentes de la industria astillera toma de referencia los astilleros como compradores en un ambiente descentralizado, en el cual los actores toman decisiones de manera autónoma y sin considerar las actividades de los otros miembros. El artículo incluye antecedentes, evaluación de referentes utilizados en el modelo matemático, metodología, resultados, conclusiones y la discusión relevante de la investigación.

Antecedentes

En Colombia surge la necesidad de estudiar la operación logística de las CS en el sector astillero, concentrado en la ciudad de Cartagena, donde se encuentran: Astivik S. A., Cotecmar, Ferroalquimar S. A. y Navtech S. A. Estas organizaciones presentan una configuración productiva por proyectos de construcción o reparación de artefactos navales que demandan la adquisición de materias primas ofrecidas por proveedores nacionales e internacionales. Es así como cada proyecto representa un agente dentro del nivel de transformación en la CS y cada proveedor representa otro en el nivel de abasto.

Al interior de su CS cada agente del ámbito de transformación toma sus decisiones de manera autónoma, considerando las restricciones de los agentes del ámbito abasto, también autónomos. La investigación que motivó el presente artículo ha logrado determinar que en lo estratégico, donde se identifican proveedores, capacidades, tipos de flota, modos y medios de transporte, reglas de negociación y acuerdos entre las partes, resulta importante y necesaria la coordinación entre los intervinientes, lo que no sucede en el sector de los astilleros colombianos, implicando incrementos en costos y deficiencias en los sectores de servicio al cliente. La complejidad en el funcionamiento de estos sistemas, y la carencia de estudios relativos a la aplicación de modelos de coordinación entre agentes de la SC, motivó esta investigación. Se propone un modelo exacto orientado a coordinar agentes autónomos en un sistema por proyectos, con capacidad finita en almacenamiento y en los medios de transporte, donde la autonomía pueda mantenerse y se garantice un funcionamiento coordinado de la CS.

El modelo ofrece los medios para establecer políticas, reglas y mecanismos de negociación que permitan crear un espacio en el que los proyectos (sector de transformación), proveedores (sector

In English

argued that only through close collaborative linkages throughout an SC can the benefits of cost reduction and improved revenue performance be achieved. According to Arshinder (Arshinder *et al.*, 2008), coordination in a SC leads to increased sales, lower lead times and excess inventory, thereby improving customer service, lowering costs, greater flexibility, higher income and increased customer retention (i.e. loyalty).

In the maritime industry, shipbuilding plays an essential role in providing services for constructing and repairing naval craft; nevertheless, no detailed methodologies and models are available for their SC member's coordination, particularly in Colombia. This condition makes the proposal described here very significant, given that maritime transport is one of the main pillars of the Colombian economy, as trade by sea accounts for about 95% of global operations (Gómez, 2010)

The coordination model for shipbuilding industry agents assumes that shipbuilders are buyers, acting in a decentralised environment in which SC members make decisions independently, without considering other SC agents' activities.

Background

There is a need in Colombia to study shipbuilding sector SC logistical operation which is concentrated in Cartagena: Astivik S.A, Cotecmar, Ferroalquimar S.A and Navtech S.A. These organisations represent entities constructing or repairing naval craft, requiring them to purchase raw materials from national and international suppliers. Each entity is an agent in SC transformation, and each supplier is another agent in SC supply.

Each transformation level agent within the SC makes its decisions autonomously, considering external agents' constraints, and also autonomously at supply level. The investigation motivating this paper determined that strategic coordination between the agents involved is important and necessary, i.e. suppliers, capacities, fleet types, ways and means of transport, rules of negotiation and agreement between parties. This does not happen in the Colombian shipbuilding sector, generating higher costs and customer service deficiency. The complexity of these systems' operation and the lack of studies concerning the application of coordination models involving agents in its SC was the motivation for the research. An exact model is proposed aimed at coordinating autonomous agents within a system having finite capacity regarding both storage and transportation, where autonomy can be maintained and coordinated operation of the SC can be guaranteed.

The model provides the means for establishing policies, rules and negotiation mechanisms for creating an environment where projects (transformation level), suppliers (supplying level) and

En español

de abastecimiento) y transportistas (sector de distribución) operen de manera independiente y a su vez trabajen en forma coordinada, con el fin de mejorar el desempeño de la operación logística y acceder a los beneficios de la coordinación, bajo una configuración productiva por proyectos.

En coordinación se destacan los trabajos de Sucky (2006) y sus modelos de negociación con información asimétrica; Jaber *et al*. (2008) investigan sobre la coordinación de cantidades a pedir en una CS centralizada de tres niveles, y Romero *et al*. (2009) estudian un ambiente de coordinación en una CS descentralizada de dos niveles. Entre las estrategias de coordinación se tiene el desarrollo conjunto de órdenes (DCO), analizada por investigadores como Banerjeé (1986) y Lau *et al*. (1994); épocas comunes de resurtido (Viswanathan & Piplani, 2001) e inventario administrado por el proveedor (VMI), destacadas por Dong *et al*. (2002), Yao *et al*. (2008) y Arango *et al*. (2010), entre otros.

Una rigurosa revisión bibliográfica demuestra que no se registran aportes al estado del arte sobre modelos de coordinación en lo estratégico aplicados a la industria astillera colombiana. En tal sentido, se propone un modelo para esta industria que guíe la acción en decisiones que comprometan en forma conjunta a compradores, vendedores y transportistas.

Metodología

La investigación incluye la evaluación de organizaciones específicas del sector astillero colombiano ubicadas en la ciudad de Cartagena por medio de estudios realizados en los últimos tres años, en los que se contó con la participación de empresarios, trabajadores e investigadores en reuniones, aplicación de encuestas y observación directa del sistema logístico; se utilizaron los procedimientos sugeridos por el IIRSA (2006) para caracterizar CS, lo cual permitió determinar los parámetros de costos y capacidades requeridos en el modelo. Las variables relevantes fueron frecuencia y tamaño de pedido, y medios de transporte utilizados.

Se evaluaron estudios disponibles a nivel nacional sobre la industria astillera y el estado del arte de modelos de coordinación, estrategias, mecanismos y reglas de negociación para empresas que operan en producción por proyectos. Se logró determinar que los modelos utilizados para el abasto en estas organizaciones pasan por sistemas clásicos de gestión de inventarios como el EOQ (*Economic Orden Quantity*) y SilverMeal, asumiendo que el poder en la CS lo tiene el comprador. Se evidenció que dentro de la literatura especializada no existen propuestas para la integración y coordinación de agentes en el contexto de la industria astillera tanto colombiana como latinoamericana, por lo que fue diseñado el modelo propuesto y programado en código GAMS, con interface en *Visual Basic* para efectuar un análisis y una evaluación de escenarios. Los parámetros son de carácter determinístico y se aplicaron dos instancias, comparando el modelo propuesto frente al modelo tomado como base.

Modelo propuesto

El modelo corresponde a una red en la que proveedores *i suministran* materias primas e insumos tipo *p* a*k* plantas durante *t* períodos de tiempo en medios de transporte tipo *s*. Estas plantas no realizan procesos de transformación; se encargan de la gestión de compra y abastecimiento de las materias primas a *j* clien-

In English

carriers (distribution level) operate autonomously and in a coordinated manner to improve logistics operational performance, achieving coordinated benefits in a production-based setting.

The following highlights such approach; Sucky (Sucky, 2006) coordinated negotiation models with asymmetric information, Jaber (Jaber *et al*., 2008) investigated coordination in order quantities in a three-level centralised SC and Romero (Romero *et al*., 2009) studied a coordination environment in a decentralised two-level SC.Coordination strategies would include joint order development (Banerjeé, 1986) (Lau *et al*., 1994), common replenishment epochs (CRE) (Viswanathan *et al*., 2001) and vendor -managed inventory (VMI) (Dong *et al*., 2002) (Yao *et al*., 2008) (Arango *et al*., 2010).

A rigorous literature review revealed no contributions regarding the state of the art about coordination models at strategic level applied to the Colombian shipbuilding industry. A model for this industry has thus been proposed to guide decision-making by jointly committing buyers, sellers and carriers.

Methodology

The research involved evaluating specific organisations within the Colombian shipbuilding area, located in the city of Cartagena (Colombia), through studies carried out during the past three years. This included employers, workers and researchers' participation through meetings, conducting surveys and direct observation of the shipbuilders' logistics system, using IIRSA procedures for SC characterisation (IIRSA, 2006). This led to determining parameters regarding cost and the skills required in the model. The relevant variables were order frequency and size, and the transportation means used.

Available national studies regarding the shipbuilding industry were evaluated as was the state of the art regarding coordination models, strategies, mechanisms and negotiation rules for companies operating in production area. It was determined that the models used for supply in these organisations consider classical inventory management systems such as economic order quantity (EOQ) and the Silver-Meal algorithm, assuming that the buyer weilds the power in the SC. There was an evident lack of proposals for agents' integration and coordination within the context of the shipbuilding industry in Latin-America and Colombia. The proposed model was thus designed and developed in GAMS code with a Visual Basic interface that allows multiple scenario analysis and evaluation. The parameters were deterministic and compared two instances of applying the proposed model to the model constructed here.

Proposed model

The model simulated a network in which suppliers i, supplied raw materials and input type *p* to *k* plants during *t* periods using transportation means type *s*. These plants did not engage in transformation, but purchased from and managed raw materials supplied to *j* customers. Classical mixed linear programming was

En español

tes. Se tomó como base un modelo clásico de programación lineal mixta ampliado, con el objetivo de minimizar costos en una CS de tres proveedores, dos plantas y tres clientes (dos son atendidos por la planta uno y uno por la planta dos) que demandan tres productos transportados en tres tipos de medios de transporte, durante un horizonte de planeación de tres quincenas; posteriormente se transformó en un modelo de programación por metas con el objetivo de disminuir las desviaciones con respecto al cumplimiento de la demanda.

In English

used for minimising SC costs with 3 suppliers, 2 plants and 3 customers (2 served by plant 1 and by plant 2) demanding 3 products to be transported by 3 transportation types, over a planning horizon of 3 fortnights. The model was converted into a goal programming model to reduce demand fulfilment deviations.

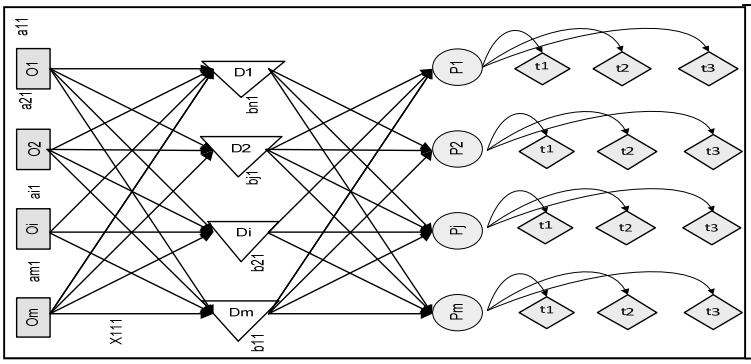

Figura. 1. Esquema de flujo del modelo

Figure 1. Model flow scheme

Fuente: los autores.
Source: authors.

La simbología, la nomenclatura utilizada, y su definición, es:

Índices usados en el modelo: I índice del proveedor, i = 1,…,m; j índice del cliente, j = 1,…,n; k índice de la planta, k = 1,…, K.p índice de referencia de producto, p = 1,…,q.; t índice del período de consumo, t = 1,…,T.s índice del tipo de transporte definido por capacidad s única asociada s = 1,…,S

Supuestos del modelo: Existe un flujo libre de información entre los actores de la cadena. Los tiempos de entrega se tienen en cuenta en la planeación estratégica del abastecimiento de la cadena. Se asume que los precios de compra permanecen constantes durante el horizonte de planeación. La distancia geográfica entre las plantas y sus respectivos clientes es mínima, se asume un *lead time* de cero. El período de tiempo unitario utilizado en el modelo es la mitad de un mes, durante un horizonte de planeación de un año. El modelo no contempla flujos inversos, ni la caducidad de los productos o el desperdicio. No existe transformación de las materias primas en los nodos intermedios de la cadena. Los costos fijos están asociados a las actividades administrativas necesarias para que sea realizado un envío sin importar el número de unidades. Existen restricciones de volumen en capacidad de almacenamiento y de transporte.

Parámetros:

i. Parámetros proveedor

$CF_{i,k,s}$ Costo fijo desde el proveedor i hasta la planta k usando el medio de transporte de capacidad s.

$cv^{p}_{i,k,s}$ Costo variable de transporte de una unidad de cada referencia única de producto tipo p, desde el proveedor i hasta la planta k usando el medio de transporte tipo s.

ch^{p}_{i} Costo de mantener inventario de una unidad de cada referencia de producto p por el proveedor i en el periodo t.

$CO^{p}_{i,t}$ Capacidad de oferta del proveedor i de producto tipo p en el periodo t.

$ED_{i,t}$ Espacio total disponible para inventario con el que cuen-

The symbolism, nomenclature and their definition were as follows:

Index used in the model: i supplier index, i = 1,…,m; j customer index, j = 1,…,n; k plant index, k = 1,…,K. p product index , p = 1,…,q.; t consumption period index, t = 1,…,T. s transportation mean index , it is assumed that each transportation mean has unique associated capacity s = 1,…,S.

Model assumptions: There is a free flow of information between agents in the SC. Delivery times are considered in the strategic planning. It has been assumed that purchase prices remain constant over the planning horizon. Lead time is zero. The time period used in the model is half a month, covering a one year planning horizon. The model does not include reverse flows, durability and waste of products. There is no transformation of raw materials in the intermediate nodes of the SC. Fixed costs are associated with administrative activities needed to make deliveries, regardless of the number of units. There are volume restrictions on storage and transportation capacity.

Parameters:

i. Supplier parameters

$CF_{i,k,s}$ Fixed cost from supplier i to plant k using means of transport having capacity s.

$cv^{p}_{i,k,s}$ variable cost of transporting one unit of each product type p from supplier i to plant k using means of transport type s.

ch^{p}_{i} holding cost of each unit of product type p assumed by supplier i in period t .

$CO^{p}_{i,t}$ supply capacity of supplier i for product type p in period t

$ED_{i,t}$ total space available for inventory for supplier i in period

En español

ta el proveedor i en el periodo t .

$NV_{i,k,t,s}$ Número máximo de viajes que puede hacer un medio de transporte s en el periodo t desde el proveedor i hasta la planta k.

ii. Parámetros Planta

$CF_{k,j,s}$ Costo fijo de transporte desde la planta k hasta el cliente j usando el medio de transporte tipo s.

$cv^{p}_{k,j,s}$ Costo variable de transporte de una unidad de cada referencia de producto tipo p desde la planta k hasta el cliente j usando el medio de transporte tipo s.

ch^{p}_{k} Costo de mantener inventarios de una unidad de cada referencia de producto p para la planta k en el periodo t.

$b_{j,k}$ Matriz j x k que contiene valores binarios [0,1], de acuerdo con la asignación de clientes a las plantas.

$SS^{p}_{k,t}$ Unidades de producto tipo p que debe mantener la planta k en el periodo t como stock de seguridad.

$ED_{k,t}$ Espacio disponible para inventario con el que cuenta la planta k en el periodo t .

$NV_{k,j,t,s}$ Número máximo de viajes de un medio de transporte tipo s en el periodo t desde la planta k hasta el cliente j.

iii. Parámetros Cliente.

ch^{p}_{j} Costo de mantener inventarios de una unidad de cada referencia única de producto p por el cliente j en el periodo t.

$D^{p}_{j,t}$ Demanda de producto p que debe cumplir el cliente j en el periodo t.

$SS^{p}_{j,t}$ Unidades de producto tipo p que debe mantener el cliente j en el periodo t como stock de seguridad.

pc^{p} Precio de compra para la planta de una unidad de producto tipo p.

$PD_{j,t}$ Presupuesto total con el que cuenta la planta k en el periodo t.

$ED_{j,t}$ Espacio disponible para inventario con la que cuenta el cliente j en el periodo t.

iv. Parámetros generales.

h^{p} Espacio en metros cúbicos requerido para almacenar una unidad de producto tipo p.

a^{p} Espacio en metros cúbicos requerido para transportar una unidad de producto tipo p.

CC_{s} Capacidad de carga (volumen) por cada unidad de medio de transporte tipo s.

v. Variables de Decisión.

$x^{p}_{i,k,t,s}$ Unidades de producto tipo p enviadas desde el proveedor i hasta la planta k en el periodo t en el medio de transporte s.

$y^{p}_{k,j,t,s}$ Unidades de producto tipo p enviadas desde la planta k hasta el cliente j en el periodo t utilizando el medio de

In English

t.

$NV_{i,k,t,s}$ maximum number of trips per means of transport s from supplier i to plant k in period t.

ii. Plant parameters

$CF_{k,j,s}$ Fixed cost of transportation from plant k to customer j using means of transport type s.

$cv^{p}_{k,j,s}$ Variable cost of transporting one unit of each product type p from plant k to customer j using means of transport s.

ch^{p}_{k} Holding cost of each product type p assumed by plant k in period t.

$b_{j,k}$ Matrix j x k containing binary values [0,1] in customer asignation to plants

$SS^{p}_{k,t}$ Units of product type p to be kept as safety stock in plant k during period t.

$ED_{k,t}$ Total space available for inventory for plant k during period t.

$NV_{k,j,t,s}$ Maximum number of trips per means of transport s from plant k to customer j in period t.

iii. Customer parameters.

ch^{p}_{j} Holding cost of each product type p assumed by customer j in period t

$D^{p}_{j,t}$ Demand for product p by customer j in period t

$SS^{p}_{j,t}$ Units of product type p to be kept as safety stock by client j during period t.

pc^{p} Purchasing price per unit of product type p

$PD_{j,t}$ Total budget available by plant k in period t.

$ED_{j,t}$ Total space available for inventory for customer j in period t.

iv. General parameters.

h^{p} cubic meters of space required to store one unit of product type p

a^{p} cubic meters of space required to transport one unit of product type p

CC_{s} load capacity (volume) per unit of transportation type s

v. Decision variables

$x^{p}_{i,k,t,s}$ units of product type p shipped from supplier i to plant k in period t using mean of transport s.

$y^{p}_{k,j,t,s}$ units of product type p shipped from plant k to customer j in period t using means of transport s.

En español

transporte s

$I_{i,t}^{p}$ Nivel de inventario de producto tipo p que mantiene el proveedor i en el periodo t.

$I_{k.t}^{p}$ Nivel de inventario de producto tipo p que mantiene la planta k en el periodo t..

$I_{j,t}^{p}$ Nivel de inventario de producto tipo p que mantiene el cliente j en el periodo t.

$U_{k,j,t,s}$ Número de viajes a realizar desde la planta k hasta el cliente j usando el medio de transporte tipo s en el periodo t.

$U_{i,k,t,s}$ Número de viajes a realizar desde el proveedor i hasta la planta k usando el medio de transporte tipo s en el periodo t.

$des_{j,t}^{(-)}$ Variable de desviación que indica faltante de inversión en productos frente al presupuesto disponible.

$des_{j,t}^{(+)}$ Variable de desviación que indica exceso de inversión en productos frente al presupuesto disponible.

$desct^{(+)}$ Variable que establece la desviación por debajo del costo mínimo.

$desct^{(-)}$ Variable que establece la desviación por encima del costo mínimo.

$desdem_{p,j,t}^{(-)}$ Variable que establece la desviación por encima en el cumplimiento de la demanda.

$desdem_{p,j,t}^{(+)}$ Variable que establece la desviación por debajo en el cumplimiento de la demanda.

Modelo básico:

Se presenta el modelo básico de gestión de la CS, ampliado con el concepto de planeación conjunta en integración con proveedores; también se incluyen las consideraciones del manejo de inventarios por parte del proveedor, los costos del transporte y el inventario del proveedor, con el objetivo de lograr la disminución conjunta de los costos de la CS.

i. Función objetivo.

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{S} CF_{i,k,t,s} * U_{i,k,t,s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{q}\sum_{s=1}^{S} cv_{i,k,t,s}^{p} * x_{i,k,t,s}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{S} CF_{k,j,t,s} * U_{k,j,t,s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n}\sum_{p=1}^{q}\sum_{s=1}^{S} cv_{k,j,t,s}^{p} * y_{k,j,t,s}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{p=1}^{q} ch_{i,t}^{p} * I_{i,t}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{q} ch_{k,t}^{p} * I_{k,t}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{n}\sum_{p=1}^{q} ch_{j,t}^{p} * I_{j,t}^{p} \quad (0)$$

ii. Restricciones.

Condiciones iniciales:

$$I_{i,0}^{p} = \text{Kte} \qquad \forall i = 1,..,m\ p = 1,..,q;\ I_{j,0}^{p} = \text{Kte2}$$

$$\forall j = 1,..,m\ p = 1,..,q; I_{k,0}^{p} = \text{Kte3} \quad \forall k = 1,..,m\ p = 1,..,q$$

In English

$I_{i,t}^{p}$ inventory level of product type p held by supplier i during period t

$I_{k.t}^{p}$ inventory level of type p product held by plant k during period t

$I_{j,t}^{p}$ inventory level of product type p held by customer j during period t

$U_{k,j,t,s}$ number of trips to make from plant k to customer j using means of transport s during period t.

$U_{i,k,t,s}$ number of trips to make from supplier i to plant k using means of transport s in period t

$des_{j,t}^{(-)}$ deviation variable indicating investment deficit in products against available budget.

$des_{j,t}^{(+)}$ deviation variable indicating investment excess in products against available budget.

$desct^{(+)}$ variable indicating minimum cost deviation.

$desct^{(-)}$ variable indicating above minimum cost deviation.

$desdem_{p,j,t}^{(-)}$ variable indicating required demand deviation.

$desdem_{p,j,t}^{(+)}$ variable indicating above required demand deviation.

Basic model:

The basic supply chain management model was extended by the concept of joint planning integration with suppliers, including considerations of supplier inventory management, supplier transport and inventory costs, aimed at reducing joint SC costs.

i. Objective function

ii. Restrictions

Initial conditions:

$$I_{i,0}^{p} = \text{Kte} \qquad \forall i = 1,..,m\ p = 1,..,q;\ I_{j,0}^{p} = \text{Kte2}$$

$$\forall j = 1,..,m\ p = 1,..,q; I_{k,0}^{p} = \text{Kte3} \quad \forall k = 1,..,m\ p = 1,..,q$$

En español

Donde Kte, Kte2 y Kte3 representan los niveles iniciales de inventario.

Sujeto a:

In English

Where Kte, Kte2 and Kte3 represented initial inventory levels

Subject to:

$$I_{i,t}^{p} = CO_{i,t}^{p} + I_{i,t-1}^{p} - \sum_{s=1}^{S}\sum_{k=1}^{K} x_{i,k,t,s}^{p} \forall i = 1,..,m\ p = 1,..,qt = 1,..,T \quad (1)$$

$$I_{k,t}^{p} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{s=1}^{S} x_{i,k,t,s}^{p} + I_{k,t-1}^{p} - \sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{S} y_{k,j,t,s}^{p} \forall k = 1,..,K,\ \ p = 1,..,qt = 1,..,T \quad (2)$$

$$I_{j,t}^{p} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{S} b_{j,k} * y_{k,j,t,s}^{p} + I_{j,t-1}^{p} - D_{j,t}^{p} \forall j = 1,..,np = 1,..,qt = 1,..,T \quad (3)$$

$$I_{k,t}^{p} \geq SS_{k,t}^{p} \forall k = 1,..,Kp = 1,..,qt = 1,..,T \quad (4)$$

$$I_{j,t}^{p} \geq SS_{j,t}^{p} \forall j = 1,..,np = 1,..,qt = 1,..,T \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^{S}\sum_{k=1}^{K} x_{i,k,t,s}^{p} \leq CO_{i,t}^{p} \forall i = 1,..,mp = 1,..,qt = 1,..,T; \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^{q} h^{p} * I_{k,t}^{p} \leq ED_{k,t} \forall k = 1,..,Kt = 1,..,T \quad (7)$$

$$\sum_{p=1}^{q} h^{p} * I_{i,t}^{p} \leq ED_{i,t} \forall i = 1,..,Kt = 1,..,T \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^{q} h^{p} * I_{j,t}^{p} \leq ED_{j,t} \forall j = 1,..,nt = 1,..,T \quad (9)$$

$$\sum_{p=1}^{q} a^{p} * y_{k,j,t,s}^{p} \leq U_{k,j,t,s} * CC_{s} \forall k = 1,..,Kj = 1,..,nt = 1,..,Ts = 1,..,S \quad (10)$$

$$\sum_{p=1}^{q} a^{p} * x_{i,k,t,s}^{p} \leq U_{i,k,t,s} * CC_{s} \forall i = 1,..,mk = 1,..,Kt = 1,..,Ts = 1,..,S \quad (11)$$

$$U_{k,j,t,s} \leq NV_{k,j,t,s} \forall k = 1,..,Kj = 1,..,nt = 1,..,Ts = 1,..,S \quad (12)$$

$$U_{i,k,t,s} \leq NV_{i,k,t,s} \forall i = 1,..,m\ \ k = 1,..,K\ \ \ t = 1,..,Ts = 1,..,S \quad (13)$$

$$\sum_{p=1}^{q}\sum_{s=1}^{S}\sum_{k=1}^{K} pc^{p} * y_{k,j,t,s}^{p} + des_{j,t}^{(-)} - des_{j,t}^{(+)} = PD_{j,t} \forall j = 1,..,n\ \ t = 1,..,T \quad (14)$$

$$x_{i,k,t,s}^{p}, y_{k,j,t,s}^{p}, I_{k,t}^{p}, I_{j,t}^{p}, I_{k,t}^{p}, U_{k,j,t,s}, U_{i,k,t,s} \geq 0\ yEnteras\ ;\ \ des_{j,t}^{(-)}, des_{j,t}^{(+)} \geq 0 \quad (15)$$

Condiciones finales:

$I_{j,T}^{p} = Kte4 \quad \forall j = 1,..,mp = 1,..,q$; Kte4 $\geq SS_{j,t}^{p}$

$I_{k,T}^{p} = Kte5 \quad \forall k = 1,..,mp = 1,..,q$; Kte5 $\geq SS_{k,t}^{p}$

Final conditions:

$I_{j,T}^{p} = Kte4 \quad \forall j = 1,..,mp = 1,..,q$; Kte4 $\geq SS_{j,t}^{p}$

$I_{k,T}^{p} = Kte5 \quad \forall k = 1,..,mp = 1,..,q$; Kte5 $\geq SS_{k,t}^{p}$

En español

Kte4 y Kte5 son los niveles deseados de inventario al final del horizonte de planeación T.

Modelo transformado para minimizar el déficit:

En este modelo de programación lineal por metas el objetivo es el de la minimización del déficit, en lugar de la minimización del costo total. Además se eliminan los inventarios en el comprador, como consecuencia de la planeación integrada y centralizada por medio del centro de acopio. Se eliminan las restricciones (3), (5), (9) y las condiciones de inventario inicial y final en el nodo *j*.

i. Función objetivo transformada

$$\text{Min } Z = desct^{(+)} + desct^{(-)} + \sum_{j=1}^{n}\sum_{t=1}^{T}\left(des_{j,t}^{(-)} + des_{j,t}^{(+)}\right) + \sum_{p=1}^{q}\sum_{j=1}^{n}\sum_{t=1}^{T}\left(desdem_{p,j,t}^{(+)} + desdem_{p,j,t}^{(-)}\right) \quad (16)$$

ii. Restricciones adicionales para el modelo de mínimo déficit.

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{S} CF_{i,k,t,s} * U_{i,k,t,s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{q}\sum_{s=1}^{S} cv_{i,k,t,s}^{p} * x_{i,k,t,s}^{p}$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{S} CF_{k,j,t,s} * U_{k,j,t,s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n}\sum_{p=1}^{q}\sum_{s=1}^{S} cv_{k,j,t,s}^{p} * y_{k,j,t,s}^{p}$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\sum_{p=1}^{q} ch_{i,t}^{p} * I_{i,t}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{q} ch_{k,t}^{p} * I_{k,t}^{p} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{n}\sum_{p=1}^{q} ch_{j,t}^{p} * I_{j,t}^{p} + desct^{(-)} - desct^{(+)} = 0 \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^{K} b_{j,k} \sum_{s=1}^{S} y_{k,j,t,s}^{p} + desdem_{p,j,t}^{(-)} - desdem_{p,j,t}^{(+)} = D_{j,t}^{p} \forall j = 1,..,np = 1,..,qt = 1,..,T \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{q} h^{p} * b_{j,k} * y_{k,j,t,s}^{p} \leq ED_{j,t} \; \forall j = 1,..,np = 1,..,qt = 1,..,T \quad (19)$$

Resultados

Al desarrollar un modelo para la coordinación de agentes de la CS en la industria astillera colombiana se proporciona una herramienta que soporta la gestión de las relaciones entre proveedores, transportadores y compradores de manera integral, minimizando el déficit en el abastecimiento a los proyectos y considerando los costos de todos los actores.

Al aplicar el modelo básico ampliado a una instancia particular se obtiene que los costos totales son 105.746.633 unidades monetarias (um) frente al modelo con el objetivo de minimizar el déficit (17) con un costo de 105.696.939 um, presentando una disminución del 0,047 %.

Las principales diferencias entre los resultados de aplicar los dos modelos se presentan en la variación de los niveles de inventario en las plantas (tabla 1), y el período de envío de los pedidos a los proyectos a pesar de que las cantidades totales enviadas en ambos modelos son iguales (tabla 2). Al eliminar los inventarios en los proyectos las plantas aumentan su nivel, período a período, para garantizar el cumplimiento de la demanda. Es importante resaltar que al aplicar los dos modelos no se presentan cambios en la cantidad enviada desde los proveedores a los clientes ni en

In English

Kte4 and Kte5 represented required inventory levels at the end of planning horizon T.

Model transformed to minimise deficit:

This linear goal programming model included the objective of minimising deficit, instead of coast minimisation. It also eliminated buyer inventory as a result of integrated and centralised planning through a collection centre. Restrictions (3), (5), (9), inventory conditions at beginning and end node j were removed.

i. Transformed objective function

ii. Additional restrictions:

Results

Developing a model for coordinating SC agents in the Colombian shipbuilding industry provided a tool for supporting integral management relationships between suppliers, carriers and buyers, thereby minimising the deficit in supply to entities considering the costs of all SC agents.

By applying the basic model to a particular instance total costs of 105,746,633 monetary units (MU) were obtained; the model aimed at minimising deficit (17) generated a cost of 105,696,939 MU, representing a 0.047% decrease regarding the basic model.

The main differences between results for both models concerned variation of inventory levels in plants (Table 1) and the period for sending orders to entities, despite the total amounts in both models being equal (Table 2). By eliminating project inventory, plants increased their levels from period to period to ensure compliance with demand. By applying both models there were no changes in the quantity shipped from suppliers to customers, or in shipment periods, or number of trips. Given the model's structure and parameters used, the significant difference ob-

En español

los periodos de envío o el número de viajes. Teniendo en cuenta la estructura de los modelos planteados y los parámetros utilizados, la diferencia significativa observada al compararlos es la disminución en los costos debido a la eliminación de los inventarios en el nodo final y el cambio en los niveles de inventario de las plantas.

Tabla 1. Variación de los niveles de inventario en las plantas (unidades)

Products 1 and 2 / Productos 1 y 2	Period / Período						Total goal model / Total modelo meta	Total base model / Total modelo base
	1		2		3			
	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base		
Plant 1/ Planta 1	78	73	170	130	40	40	288	243
Plant 2 / Planta 2	57	50	44	50	55	55	156	155
Total	135	123	214	180	95	95	444	398

Tabla 2. Variación de las cantidades enviadas por período desde las plantas a los proyectos (unidades)

Products 1 and 2 / Productos 1 y 2	Period / Periodo						Total goal model / Total modelo meta	Total base model / Total modelo base
	1		2		3			
	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base	Goal model / Modelo Meta	Base model / Modelo Base		
Plant 1* / *Planta 1	678	683	521	556	619	579	1,818	1,818
Project 1 /Proyecto 1	347	245	161	169	54	54	562	468
Project 2 / Proyecto 2	172	244	111	110	261	140	544	494
Project 3 / Proyecto 3	159	194	249	277	304	385	712	856
Plant 2* / *Planta 2	230	237	341	328	367	373	938	938
Project 1 / Proyecto 1	0	0	61	0	219	145	280	145
Project 2 / Proyecto 2	61	0	108	252	148	82	317	334
Project 3 / Proyecto 3	169	237	172	76	0	146	341	459
Total	908	920	862	884	986	952	2,756	2,756

Conclusiones y discusión

Se ha propuesto un modelo matemático novedoso para la planeación estratégico-táctica de la CS en la industria astillera colombiana en una red de actores autónomos que interactúan en un entorno descentralizado, introduciendo además una propuesta de coordinación para minimizar el costo de los integrantes de la CS, contemplando la estrategia de distribuir la responsabilidad en el manejo de los inventarios en los nodos de inicio e intermedios de la cadena, con el objetivo principal de disminuir el déficit en el cumplimiento de la demanda.

Esta manera de administrar el inventario en los astilleros requiere de un flujo de información preciso, alto nivel de compromiso por los actores de la cadena, y considerar elementos como contratos, relaciones de estatus y poder, y beneficios compartidos, que desempeñan un papel fundamental para el éxito en el proceso de planeación de la SC. Además, al centralizar el manejo de los inventarios en los centros de acopio se facilita el control de las cantidades en proceso, las órdenes comprometidas, el desecho, el desperdicio y la obsolescencia de materiales.

De acuerdo con los resultados del trabajo realizado por los grupos de investigación, en el modelo presentado se propone la centralización parcial de la CS realizando el proceso de planeación conjunta del abastecimiento y la distribución global en un eslabón intermedio de la cadena que se encargue de generar el plan general de abastecimiento, inventario y distribución que guíe las acciones conjuntas de los miembros de la cadena en procura del cumplimiento de la demanda estimada del cliente final durante el período de planeación, contemplando los datos de la demanda y la oferta agregada conjunta, así como las condiciones y restricciones de producción, almacenamiento y capacidad de los diferentes nodos y arcos.

In English

served when comparing them lay in cost reduction due to eliminating inventories from the final node and changing inventory levels in plants.

Table 1: Variation in inventory levels in plants (units)

Table 2: Variation of the amounts sent by period from plants to entities (units)

Conclusions and Discussion

We have proposed an innovative mathematical model for strategic and tactical CS planning in the shipbuilding industry, involving a network of autonomous actors who interact in a decentralised environment, introducing also a coordination proposal for minimising the cost of all SC members, considering the strategy of distributing responsibility for inventory management in the beginning and intermediate nodes, aimed at reducing deficit in meeting demand.

This way of managing inventory in shipbuilding requires an accurate flow of information and a high level of commitment by SC members where elements such as contracts, status and power relationships, and the concept of shared benefits must be considered as they play a key role in the success of planning. Centralising inventory management in plant collection centres facilitates monitoring quantities, committed orders, disposal and waste and obsolete materials and supplies.

According to the results of the work done by research groups, the model presented led to proposing partial centralisation of SC by joint planning of global supply and distribution in an intermediate link in the SC, thereby generating the general supply, inventory and distribution plan to guide SC members' joint actions towards meeting end customers' estimated demand during the planning period, taking supply and demand data together, and conditions and restrictions concerning production, storage and capacity regarding the different nodes and arcs.

En español

Investigación futura

Para trabajos posteriores es posible realizar la extensión del modelo contemplando la comparación de la propuesta frente a estrategias como VMI. Actualmente los grupos de investigación trabajan en la inclusión del manejo de externalidades de las operaciones logísticas, en el ámbito del manejo de devoluciones y desperdicios, como factores relevantes.

In English

Future research

Further work may consider extending the model to compare the proposal to strategies like VMI. Currently, research groups are working on including logistics operation externality management. It is suggested using the model to support the inclusion of management returns and waste, as factors relevant to the shipbuilding industry.

Referencias / References

Arango, M., Adarme, W., Zapata, J. Gestión cadena de abastecimiento - logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira. Revista Neogranadina UMNG, 2010.

Arshinder, A. K., Deshmukh, S. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. Int. J. Production Economics, 115(2), 2008, pp 316-335.

Banerjeé, A. Note On "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor Profits". Maagement Science, 32, 1986, pp. 1513-1517.

Dong, Y., Xu, K. A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory. Transportation Research Part E, 38 (2) , 2002, pp. 75-95.

Gómez, A. Análisis estratégico del sector astilleros en Colombia: estudio desde una perspectiva fluvial. Social Sciences Research eNetwork Library, 2010.

IIRSA. Metodología para el desarrollo de servicios logísticos de valor agregado IIRSA, 2006.

Jaber, M., Goyal, S.K. Coordinating a three-level supply chain with multiple suppliers, a vendor and multiple buyers. Int J. Production Economics, 116 (1) , 2008, pp. 95–103.

Lambert, D., Cooper, M. Issues in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management, 29 (1) , 2000, pp. 65-83.

Lau, H., Lau, A. Coordinating two suppliers with offsetting lead time and price performance. Journal of Operations Management, 11(4), 1994, pp. 327-337.

Romero, D., Vermeulen, D. Existence of equilibria in a decentralized two-level supply chain. European Journal of Operational Research,197 (2), 2009, pp. 642-658.

Simchi Levi. Designing and Managing the Supply Chain: concepts, strategies, and case studies (2nd Ed edition ed.). New York: Irwin/Mcgraw-Hill., 2003.

Speakman, R., Kamauff, J., & Myrh, J. An empirical investigation into supply chain management: A perspective on partnerships. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 28, 1998, pp. 630-650.

Sucky, E. A bargaining model with asymmetric information. European Journal of Operational Research, 171, 2006, pp. 516–535.

Viswanathan, S., Piplani, R. Coordinating Supply Chain Inventories Through Common Replenishment Epochs. European Journal of Operational Research, 129, 2001, pp. 277-286.

Yan, J., Selen, W., Zhang, M., Huo, B. The effects of trust and coercive power on supplier integration. International Journal of Production Economics, 120 (1), 2008, pp. 66-78.

Yao, Y.,Dresner, M. The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory. Transportation Research Part E, 44 (3), 2008, pp. 361–378.