

Metodología para la coordinación del inventario de materias primas y materiales en la industria de astilleros

Methodology for Coordination of Inventory of Raw Materials in Shipyard Industry

Lic. Carlos Javier Hernández-González, cjavier@eco.uo.edu.cu

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

El objetivo general de este trabajo es definir una metodología de gestión y control de inventarios que minimice el costo total asociado al aprovisionamiento de materias primas y materiales en la empresa Astilleros del Oriente, de Santiago de Cuba, mediante la modelación económico-matemática y la implementación de un sistema informático. La investigación forma parte del proyecto territorial de innovación tecnológica denominado "Fortalecimiento institucional en la enseñanza de las asignaturas de Estadística, Investigación Operativa, Fiabilidad y Calidad y aplicación científica en temas de interés regional", aprobado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La política propuesta permite obtener, a nivel de planificación, un ahorro global en los costos totales relevantes de los renglones analizados ascendente a \$ 39 332,80 en el año 2013, así como niveles más eficientes en los indicadores logístico-financieros.

Palabras clave: gestión, inventario, costos.

Abstract

The general objective of this paper is to define an administration methodology to control the inventories in order to minimize the total cost associated to the provisioning of raw materials by the application of economic-mathematics models with the implementation of a computer system in Astilleros del Oriente, Santiago de Cuba. The research is part of the project of technological innovation "Fortalecimiento institucional en la enseñanza de las asignaturas de Estadística, Investigación Operativa, Fiabilidad y Calidad y aplicación científica en temas de interés regional" approved by the Ministry of Science Technology and Environment. The methodology allows obtaining, at planning level, a saving in the relevant total costs of the analyzed products to \$ 39 332, 80 in the year 2013, as well as more efficient levels in the logistical–financial indicators.

Keywords: management, inventory, costs.

Introducción

El entorno industrial en el cual se desarrolla el siglo XXI se caracteriza por la competitividad, la velocidad de los cambios y la inestabilidad de la demanda. Ello se debe, en buena medida, al aumento de las exigencias de los clientes, que requieren productos de calidad que se ajusten a sus necesidades específicas, así como entregas más frecuentes y rápidas. Es por esto que todo tipo de empresa, independientemente del tamaño, necesita de la existencia de inventarios para garantizar la continuidad de su actividad, bien sea productiva o de servicios. Una buena administración de los inventarios es esencial para el funcionamiento exitoso de las organizaciones.

Las decisiones típicas que deben tomarse respecto de los inventarios han sido apoyadas por técnicas cuantitativas de la investigación de operaciones y por el desarrollo de sistemas computacionales integrados denominados *Enterprise Resource Planning* (ERP) que aplican parte de los conceptos fundamentales de gestión, pero que presentan fallas en su implementación, especialmente en entornos culturales distintos a los entornos donde originalmente fueron creados. En campos como la investigación de operaciones, buena parte de los esfuerzos que desde los años cincuenta han tenido lugar en áreas de la logística, se ha enfocado en la solución de los problemas complejos de la gestión de inventarios.

Por otra parte, la complejidad que requiere la determinación de una metodología de gestión de inventarios, necesita no solo contar con los conocimientos adquiridos durante años de experiencia, sino también de métodos científicos apropiados para lograr dicho objetivo, debido fundamentalmente al número y complejidad, desde el punto de vista computacional, de factores que intervienen en el análisis.

Fundamentación teórica

Coordinación de inventario en la cadena de suministro

Para Malone y Crowston (1993), la coordinación “es un proceso orientado a la gestión de la dependencia que existe entre las actividades”. Como puede observarse, la definición lleva implícito el concepto “proceso” y su idea es una clara orientación hacia la integración empresarial.

Rodríguez (1999) afirma que los sinónimos más empleados y de mayor confusión son: "integración" y “cooperación”. Para el primer caso, Nagarajan, *et al.* (2000) definen

que la integración en el contexto empresarial consiste en reunir los componentes para formar sinergias como un todo. Afirman que la integración empresarial es la reingeniería de los procesos de negocio y los sistemas de información para mejorar el equipo de trabajo y la coordinación a través de las fronteras de la organización, aumentando la efectividad de las empresas como un todo.

Martínez (2001) define al sinónimo “cooperación” como:

Un conjunto de acciones, conscientes y deliberadas, realizadas por dos o más empresas entre las que no existe subordinación, que optan por coordinar sus interdependencias a través de mecanismos que vinculan a las empresas en mayor medida que la relación de mercado sin que instaure en ellas una relación jerárquica.

Rodríguez (1999) confirma que la cooperación, generalmente, se emplea para designar actitudes internas que pueden favorecer la coordinación. De esta manera, puede deducirse que las relaciones de colaboración y la integración empresarial se conjugan y utilizan la cooperación como un mecanismo que activa la coordinación. Sin embargo, los tres conceptos, planteados desde una óptica holista organizacional, deben buscar la eficiencia general de la gestión logística de la cadena de suministro.

Estrategias de coordinación en la cadena de suministro

Paralelo al acelerado crecimiento de la competencia mundial, se ha incrementado el interés por la gestión de relaciones de largo plazo entre los socios comerciales, con el fin de lograr beneficios conjuntos. Para lograr lo anterior, las empresas han desarrollado algunas estrategias de coordinación con el propósito de mejorar sus actividades fundamentales.

Thomas y Griffin (1996) clasifican dichas estrategias en tres niveles operativos principales:

- a) Coordinación cliente–proveedor.
- b) Coordinación producción–distribución.
- c) Coordinación distribución–inventarios.

En términos generales, puede corroborarse que cada uno de los tópicos de coordinación mencionados han sido ampliamente explorados por investigadores y practicantes. Sin embargo, debido a que el campo de estudio es muy extenso, ninguno de ellos ha sido

abordado en su totalidad. De acuerdo con los alcances de este proyecto de investigación, el interés de esta sección se centra en presentar las estrategias de coordinación más utilizadas por clientes y proveedores en la gestión de sus actividades fundamentales.

En principio, puede definirse una estrategia de coordinación como el plan de largo plazo que permite enfocar los esfuerzos y alinear los recursos de manera productiva de un conjunto de procesos de negocio, subordinados a la estrategia operativa (modelo del negocio) adaptada a las características empresariales.

La primera iniciativa creada para permitir la integración en la cadena de suministro viene desde 1992, cuando catorce asociaciones patrocinaron el grupo llamado *Efficiente Consumer Response Movement* (ECR-M), con el propósito de liderar una transformación sin precedentes de las prácticas de los negocios (Robins, 1994; Harris y Swatman, 1997). A finales de 1992, el Movimiento ECR-M publicó un informe que sugería la práctica comercial óptima para la gestión de la cadena de suministro. En dicho informe se plantea que los beneficios de la cadena podrían lograrse por medio de cuatro estrategias principales:

- a) Promociones eficientes.
- b) Resurtido eficiente.
- c) Desarrollo eficiente del producto.
- d) Reaprovisionamiento eficiente.

Las tres primeras responden al predominio de aspectos de comercialización (*marketing*), mientras que la cuarta afecta esencialmente a la logística (Mejías y Prado, 2001). Según Barratt y Oliveira (2001), el reporte propuso la necesidad de “desarrollar relaciones basadas en la confianza entre fabricantes y detallistas (incluidos los proveedores y clientes en general), para compartir información estratégica y optimizar todos los resultados en la cadena de suministro”. A partir de esta iniciativa, ha surgido una cantidad importante de iniciativas basadas en estrategias de colaboración.

La figura 1, ilustra el proceso de abastecimiento para el caso de un proveedor y un cliente.

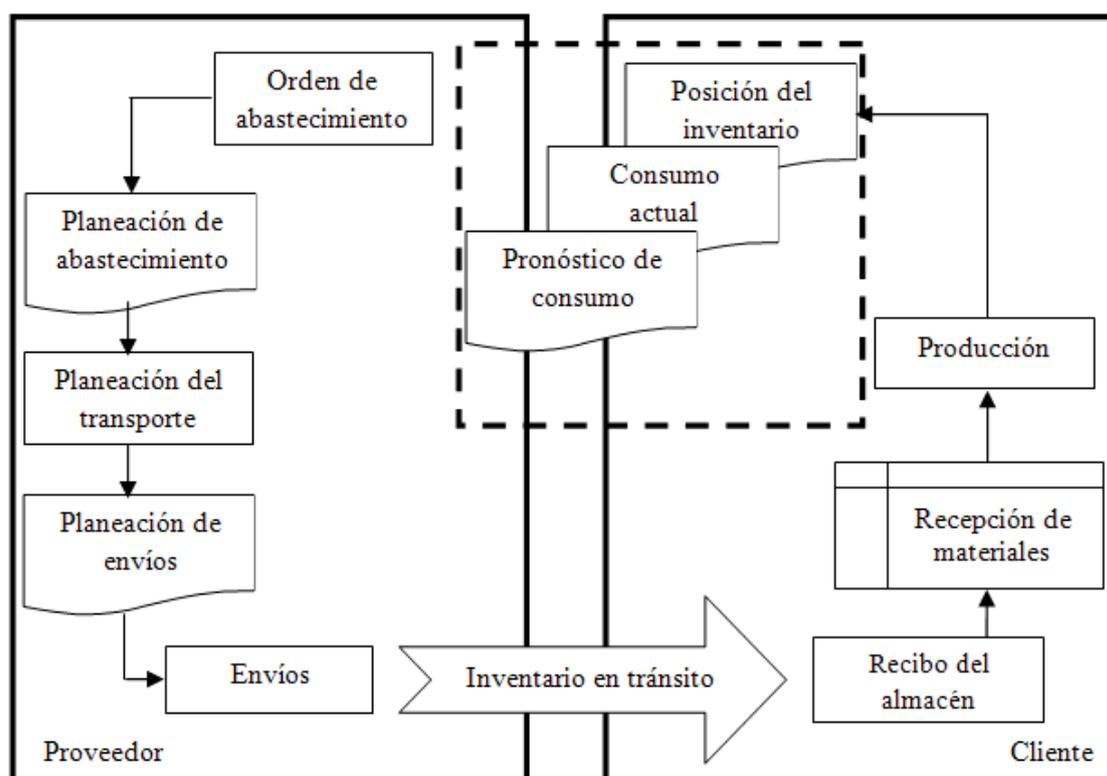


Figura 1: Proceso típico de reaprovisionamiento entre proveedor y cliente

Fuente: Elaboración del autor

Según Fisher (1997), en industrias tales como los bienes de consumo empacados, productos de asistencia médica y electrónica con altos niveles de certidumbre en la demanda este tipo de mecanismo es importante en la gestión de la cadena de suministro.

Métodos utilizados

Propuesta de metodología para la coordinación de inventarios en la industria de astilleros

El tema de diseñar metodologías para una gestión eficiente de inventario de materias primas y materiales, basadas en la integración de los diversos eslabones de la cadena de suministro en el proceso de construcción y reparación naval, se caracteriza por su complejidad. Cada objeto de obra puede requerir una gran diversidad de recursos, desde planchas de acero de diferentes características, materiales de soldadura, madera para la infraestructura interna, hasta bombillos, cocinas, pintura, entre otros. Cuando no se cuenta con estos recursos en el momento adecuado, existen retrasos en las actividades del proceso de reparación, incurriéndose en este caso en elevados costos por concepto

de agotamiento de los inventarios. Sin embargo, será necesario evitar también que existan cantidades excesivas en existencia de manera que no crezcan anormalmente los costos de conservación (costos de almacenamiento, costos de inmovilización del capital).

Esto hace necesario determinar una estrategia encaminada a lograr un ahorro en los costos totales implicados en el proceso de aprovisionamiento, una metodología de gestión y control de las existencias que responda de manera eficiente al problema de los inventarios, es decir, dar respuesta a cuatro preguntas inherentes a la gestión de aprovisionamiento: ¿cuánto pedir de cada artículo?, ¿cuándo realizar el pedido?, ¿con cuáles proveedores contratar los productos?, ¿cuál es el costo de la política que se sigue actualmente y cuál el de la recomendada?

Para cumplimentar los objetivos anteriormente planteados se diseñó una metodología para la gestión y control del inventario encaminada a integrar los modelos económico-matemáticos y herramientas prospectivas y estratégicas a los procesos de gestión y control de inventarios, siendo necesario, además, el diseño e implementación de un sistema informático que permita la determinación y utilización diaria de políticas para lograr una gestión eficiente de inventarios.

La metodología ha sido diseñada de la manera en que aparece en la figura 2.

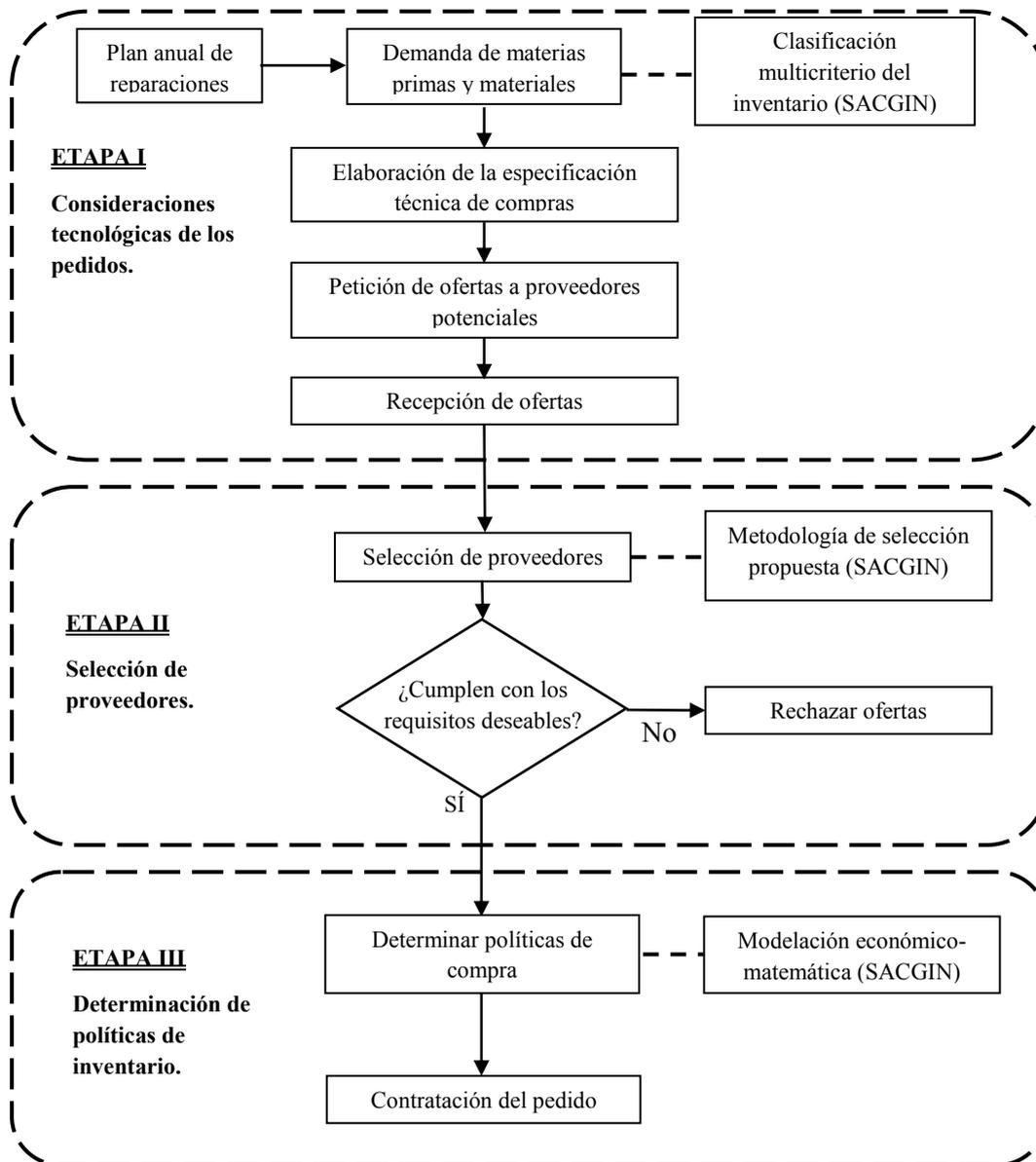


Figura 2: Procedimiento de compras de materias primas y materiales

Fuente: Elaboración del autor

El procedimiento de compras se inicia (Etapa I) cuando la empresa desarrolla el Plan Anual de Reparaciones. A partir de este Plan, se determinan las necesidades de materias primas y materiales necesarios para el proceso productivo. Una vez que se ha determinado la demanda, la empresa procede a elaborar las “Especificaciones Técnicas de Compra” de los materiales. A continuación, se lleva a cabo la petición de ofertas a los proveedores potenciales y luego son recibidas las mismas.

Una vez que han sido recibidas las ofertas (Etapa II), la empresa debe decidir, sobre la base de un proceso de selección, con cuáles proveedores contratar los pedidos. La Etapa

III comienza con la determinación de las políticas de compra de cada renglón seleccionado y culmina con la contratación de los pedidos con los proveedores.

Etapa I: Consideraciones tecnológicas de los pedidos

Este plan se confecciona teniendo en cuenta la conciliación de necesidades de reparación llevada a cabo entre empresas navieras o no navieras que poseen embarcaciones y el Astillero, el cual se encarga de atender la demanda de los clientes.

Luego de haber llevado a cabo el análisis de la demanda se procede a elaborar las “Especificaciones Técnicas de Compra”. Las mismas deben incluir entre otros aspectos: el alcance del suministro, una descripción técnica y funcional, diseño de datos técnicos, entre otros.

En esta etapa se hace necesario determinar el número de renglones considerados críticos para el proceso productivo; este se basa en el hecho de que para que un sistema de control de inventario funcione eficientemente debe existir diferenciación entre los renglones en existencia en correspondencia con la importancia económica relativa de cada producto. Es decir, no dar el mismo tratamiento a todos los renglones, sino aplicar métodos de control y análisis a aquellos que se consideren críticos de acuerdo a su impacto en el proceso productivo.

En la presente investigación se propone un método de clasificación de los renglones que componen el inventario, el cual se fundamenta sobre la base del control selectivo de los mismos.

El algoritmo para la aplicación del método sería:

Dada la siguiente matriz:

Renglones	Criterios			
	Criterio 1 Peso1 (w_1)	Criterio 2 Peso2 (w_2)	...	Criterio n Peso m (w_n)
Renglón 1	V_{11}	V_{12}	...	V_{1n}
Renglón 2	V_{21}	V_{22}	...	V_{2n}
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
Renglón m	V_{m1}	V_{m2}	...	V_{mn}
	$\sum_{i=1}^n v_{i1}$	$\sum_{i=1}^n v_{i2}$...	$\sum_{i=1}^n v_{in}$

donde:
 w_j : peso específico del criterio j – ésimo, con $\sum_{j=1}^m w_j = 1$

v_{ij} : valor del renglón i – ésimo sobre la base del criterio j – ésimo
 $\forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$

Paso 1. Determinación de frecuencias relativas

$$p_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum_{i=1}^n v_{ij}}; \forall i, j$$

donde: p_{ij} es la frecuencia relativa del renglón i sobre la base del criterio j

Paso 2. Determinación de los pesos de los renglones según el criterio de decisión

$$P_{ij} = \log_{\alpha}(p_{ij}) \quad \{ \alpha \in \mathfrak{R} / 0 < \alpha < 1 : 0 < P_{ij} < 5 \}$$

Regla de decisión:

Si:	Entonces:
$0 < P_{ij} \leq 1$	$PR_{ij} = 5$
$1 < P_{ij} \leq 2$	$PR_{ij} = 4$
$2 < P_{ij} \leq 3$	$PR_{ij} = 3$
$3 < P_{ij} \leq 4$	$PR_{ij} = 2$
$4 < P_{ij} \leq 5$	$PR_{ij} = 1$

donde: PR_{ij} es el peso del i -ésimo renglón sobre la base de j -ésimo criterio de clasificación

Paso 3. Determinación de los pesos específicos de los criterios

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n PR_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n PR_{ij}}$$

Paso 4. Determinación de la posición del renglón i – ésimo

$$UR_i = \sum_{j=1}^n PR_{ij} w_j$$

Paso 5. Ordenar los renglones de manera descendente sobre la base de los UR_i

Paso 6. Asignar un valor cualitativo a UR_i

$4 < UR_i \leq 5$	Muy Alto
$3 < UR_i \leq 4$	Alto
$2 < UR_i \leq 3$	Medio
$1 < UR_i \leq 2$	Bajo
$0 < UR_i \leq 1$	Muy Bajo

Los criterios a tener en cuenta para la aplicación del método propuesto, y en el contexto de la investigación, son: 1) consumo, 2) existencia, 3) precio unitario y 4) periodo de entrega (PE).

En el caso particular del Periodo de Entrega, y sobre la base del criterio de los especialistas del departamento de Compras, se evalúa de la siguiente manera:

$49 \leq PE \leq 60$ días	Muy Alto
$37 \leq PE \leq 48$ días	Alto
$25 \leq PE \leq 36$ días	Medio
$13 \leq PE \leq 24$ días	Bajo
$1 \leq PE \leq 12$ días	Muy Bajo

Esta etapa culmina con la recepción de las ofertas enviadas por los distintos proveedores.

Etapa II. Selección de los proveedores

Esta etapa comienza una vez que se han recibido las distintas ofertas de materias primas y materiales enviadas por los proveedores. La metodología propuesta¹ para este proceso de selección está basada en la interrelación de mediciones de parámetros; se efectúa apoyándose en el Sistema Informático “SACGIN”². Se evalúa cada parámetro P_j asignándole un valor numérico en un intervalo de 1 a 3 puntos donde:

- 3 será la puntuación más elevada y expresa el cumplimiento total del parámetro.
- 2 expresa un cumplimiento parcial, pero el cual la organización considera aceptable.
- 1 expresa incumplimiento del parámetro.

Eficacia de los pedidos generados (P1): expresa el grado de cumplimiento de las características cualitativas de los artículos que suministra el proveedor.

Nivel de Cumplimiento de los Proveedores (P2): evalúa el grado de cumplimiento de lo acordado con el cliente. Es decir, se valora, del total de solicitudes recibidas, cuántas han cumplido con los plazos de entregas acordados.

¹ Tomada y adaptada de: Maritza Ortiz Torres. (2004). “Procedimiento para la gestión de inventarios con demanda independiente en empresas comerciales y de servicio”. Tesis Doctoral. Universidad de La Habana, Cuba. (inédita).

² “Sistema de Apoyo al Control y Gestión del Inventario”. El sistema forma parte del paquete computacional “Sistema Integral de Producción” destinado a gestionar los procesos técnicos y administrativos en los astilleros. Elaborado de manera conjunta entre profesores de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales y estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Computación, ambas de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

Flexibilidad (P3): mide el grado de respuesta del proveedor frente a nuevos requerimientos de la organización, que no estén contemplados en los contratos efectuados.

Faltantes en la entrega (P4): evalúa el grado de cumplimiento de las cantidades solicitadas en cada pedido.

Precios (P5): valora si los precios ofertados son adecuados o no, teniendo en cuenta la relación entre el precio mínimo establecido por el mercado (PM) y el precio planteado por el suministrador (PS).

Estabilidad del Suministro (P6): evalúa el grado de estabilidad del suministrador, con respecto a la disponibilidad de los productos en el momento que se le soliciten.

Categoría (P7): se evalúa teniendo en cuenta la aplicación por parte de los proveedores de sistemas de calidad certificados internacionalmente.

La evaluación del proveedor se obtiene mediante una formulación matemática, a partir de definir ponderaciones para cada uno de los parámetros, la cual tiene la siguiente expresión:

$$E = \sum_{j=1}^7 c_j P_j$$

con $\sum_{j=1}^7 c_j = 1$

donde:

c_j : refleja el peso específico que representa el parámetro j en la evaluación total.

E : evaluación del proveedor j .

Los pesos específicos que permiten ponderar cada criterio deben ser determinados en cada organización mediante criterio de expertos. A continuación, se detalla la manera de evaluar cada uno de los parámetros planteados.

Eficacia de los pedidos generados (P_1): expresa el grado de cumplimiento de las características cualitativas de los artículos que suministra el proveedor. Desde el punto de vista cuantitativo, la evaluación se realiza como sigue:

$$P_1 = \frac{\text{cantidad de artículos aceptados}}{\text{cantidad de artículos recibidos}} 100$$

Si: $P_1 \geq 90 \%$, la puntuación que recibe el parámetro es 3.

$70 \% \leq P_1 < 90 \%$, la puntuación que recibe el parámetro es 2.

$P_1 < 70 \%$, la puntuación es 1.

En caso de que la empresa no haya contratado servicios con el proveedor, la evaluación se realiza comparando la calidad de las mercancías vendidas por el proveedor, con la calidad de otros productos similares que se ofertan en el mercado, de acuerdo a su cartera de proveedores.

- Si la calidad ofrecida es superior a la de productos similares en el mercado, la puntuación del parámetro será 3.
- Si la calidad ofrecida es igual a la de productos similares en el mercado, la puntuación del parámetro será 2.
- Si la calidad ofrecida es inferior a la de productos similares en el mercado, la puntuación del parámetro será 1.

Nivel de Cumplimiento de los Proveedores (P_2): evalúa el grado de cumplimiento de lo acordado con el cliente. Es decir, se valora, del total de solicitudes recibidas, cuántas han cumplido con los plazos de entregas acordados.

Desde el punto de vista cuantitativo, se evalúa como sigue:

$$P_2 = \frac{\text{número de solicitudes recibidas en tiempo}}{\text{número de solicitudes recibidas}} 100$$

Si: $P_2 \geq 90 \%$, la puntuación del parámetro es 3.

$70 \% \leq P_2 < 90 \%$, la puntuación del parámetro es 2.

$P_2 < 70 \%$, la puntuación del parámetro es 1.

Flexibilidad (P_3): mide el grado de respuesta del proveedor frente a nuevos requerimientos de la organización que no estén contemplados en los contratos efectuados. Este parámetro es muy difícil de evaluar desde el punto de vista cuantitativo, por lo que se propone sea evaluado cualitativamente, de la forma siguiente:

- Si no se producen variaciones con respecto a los contratos, o si la respuesta del suministrador ante una variación es satisfactoria, la puntuación del parámetro será 3.

- Si la respuesta es medianamente satisfactoria, la puntuación del parámetro será 2.
- Si la respuesta es poco satisfactoria o no se aceptan cambios, la puntuación del parámetro será 1.

Faltantes en la entrega (P_4): evalúa el grado de cumplimiento de las cantidades solicitadas en cada pedido. Cuantitativamente se evalúa como sigue:

$$P_4 = \frac{\text{cantidad de unidades recibidas}}{\text{cantidad de unidades solicitadas}} \cdot 100$$

Si: $P_4 \geq 90 \%$, la puntuación del parámetro es 3.

$70 \% \leq P_4 < 90 \%$, la puntuación del parámetro es 2.

$P_4 < 70 \%$, la puntuación del parámetro es 1.

Precios (P_5): valora si los precios ofertados son adecuados o no, teniendo en cuenta la relación entre el precio mínimo establecido por el mercado (PM) y el precio planteado por el suministrador (PS).

Si: $PS < PM$, la puntuación del parámetro es 3.

$PS = PM$, la puntuación del parámetro es 2.

$PS > PM$, la puntuación del parámetro es 1.

Estabilidad del Suministro (P_6): evalúa el grado de estabilidad del suministrador, con respecto a la disponibilidad de los productos en el momento que se le soliciten.

- Si el suministrador mantiene una oferta estable, la puntuación del parámetro es 3.
- Si el suministrador mantiene una oferta poco estable, pero con cierta frecuencia, la puntuación del parámetro es 2.
- Si el suministrador presenta una oferta muy inestable o eventual la puntuación del parámetro es 1.

Categoría (P_7): se evalúa teniendo en cuenta la aplicación por parte de los proveedores de sistemas de calidad certificados internacionalmente.

- A-1: proveedores con sistemas de calidad certificados por organizaciones autorizadas y aprobados por ASTOR. El valor del parámetro es 3.

- B-1: proveedores que no cuentan con sistemas de calidad pero tienen implementados controles efectivos. Se tiene experiencia satisfactoria de servicios anteriores y se cuenta con evidencia objetiva de los resultados. El valor del parámetro es 2.
- C-1: proveedores sin sistemas de calidad y controles inefectivos. El valor del parámetro es 1.

La periodicidad de las evaluaciones debe ser determinada por la organización, de acuerdo a las características de cada proveedor.

Una vez elegido el suministrador con el cual se contratará la compra, el siguiente paso es formalizar el pedido y para ello se elaborará un “Adelanto de Pedido”. El mismo incluirá entre otros, aspectos tales como: descripción del producto, forma de pago, facturación y garantía.

El sistema SACGIN brinda un listado de los cinco primeros proveedores con su respectiva puntuación de manera descendente. El departamento de Compras se encargará de escoger el proveedor o los proveedores con los cuales contratará el servicio, dando paso así a la tercera etapa.

Etapas III. Determinación de políticas de inventario

La determinación de políticas de inventario para cada uno de los renglones analizados estará basada en la selección de los materiales a partir de las necesidades de demanda para el periodo analizado que fueron definidas en la Etapa I. Por otra parte, se tendrán en cuenta los costos asociados a la orden del producto, los costos en que se incurre por conservar el inventario durante un periodo, los costos por mantener inventario en tránsito por el modo de transporte, entre otros parámetros. Esta etapa se llevará a cabo a partir de adaptar un modelo matemático de Cantidad Económica de Pedido el cual brindará como resultado la cantidad de artículos a comprar de cada renglón seleccionado con el fin de alcanzar la meta propuesta de minimizar los costos asociados a la gestión de aprovisionamiento.

En el contexto de la estrategia que se propone, el modelo busca abastecer “n” productos en periodos fijos de planeación. Como medidas de desempeño se consideran los costos totales (inventarios en almacén y en tránsito, fletes y costo de ordenar), y el nivel de servicio.

Se busca que el modelo alcance niveles óptimos de costos por: 1) lanzar órdenes y 2) almacenar productos. A partir del planteamiento del problema para la coordinación de inventarios cliente-proveedor en el contexto antes descrito, surgen nuevos cuestionamientos de gran importancia que se tendrán que responder, por ejemplo, ¿cuál deberá ser la política de inventario?, es decir, ¿cuándo y cuántas órdenes debe lanzar la empresa durante el horizonte de planeación que satisfagan las metas de costos conjuntos?, ¿cuál es el tamaño de la orden por tipo de producto en cada período?

Construcción de un modelo matemático

En la construcción del modelo matemático se busca representar la esencia del problema en cuestión.

Supuestos:

- Se experimenta una demanda determinista y dinámica. La empresa demanda una cantidad conocida variable de diferentes productos, durante un horizonte finito de períodos.
- Se incurre en costos por mantener inventario y por generar cada orden de compra.
- No se permiten faltantes.

Notación empleada en la formulación matemática

Índices:

i: Número de productos; $i = 1, \dots, n$

Parámetros del modelo:

CO_i: costo en que se incurre por ordenar el producto *i* en el periodo.

CC_i: costo en que se incurre por conservar el inventario durante un periodo, una unidad de producto *i* dado en pesos/unidad/periodo.

D_i: demanda de la empresa del producto *i* en el periodo dado en unidades/periodo.

p_i: precio unitario del producto *i*.

T_i: tarifa de transporte, independiente del volumen.

P: presupuesto destinado a la gestión de compra del inventario.

Variables de decisión:

X_i : cantidad ordenada del producto i por la empresa $\forall i = 1, \dots, n$.

Formulación matemática del problema

Para llevar a cabo el modelado del problema y su evaluación, se ha estimado que la empresa adquiere sus productos de acuerdo a su política óptima dada por el modelo matemático siguiente:

Función objetivo:

$$CTR_i(X_i) = \sum_i CC_i \frac{X_i}{2} + CO_i \frac{D_i}{X_i} + (CCT_i + T_i)X_i$$

Restricciones:

Restricción de presupuesto de gastos:

$$p_i X_i + T_i X_i \leq G \quad (1)$$

El modelo se encuentra inmerso en el contexto de los modelos clásicos de inventario, y busca minimizar el costo total de la política de inventario (CTR_i). La ecuación (1) restringe el capital destinado a la compra y transportación del inventario a lo presupuestado por la empresa para este objetivo.

Resultados y discusión

Impacto económico de la política propuesta

Para la determinación del impacto económico de la política propuesta se tomó como caso de estudio la Empresa de Astilleros del Oriente. Este impacto se determinó a partir del análisis comparativo de los costos logísticos derivados de la aplicación de la propuesta y aquellos en que se incurre sobre la base de la cantidad de pedido promedio en el periodo 2009 – 2013.

El valor del inventario de materias primas y materiales, que ha representado entre el 55 % y 60 % del valor del inventario total, con la política propuesta disminuye hasta un 47,68 %, logrando así niveles más eficientes de existencias (tabla 1).

Tabla 1: Relación entre inventario promedio de materias primas e inventario promedio total en el periodo 2009–2013

Empresa “Astilleros del Oriente” Relación entre inventario promedio de materias primas e inventario promedio Periodo 2009-2013			
Años	Inventario Promedio (pesos)	Inventario Promedio Materias Primas (pesos)	%
2009	714 930,00	421 359,00	58,94
2010	702 548,00	392 571,50	55,88
2011	699 057,00	425 367,50	60,85
2012	793 729,00	444 756,50	56,03
2013	757 992,00	361 413,50	47,68

Fuente: Información de los Estados Financieros de ASTOR

Por otra parte, la aplicación de la política propuesta implica un cambio en indicadores asociados al inventario de materias primas y materiales.

En la tabla 2, se muestra el comportamiento de los principales indicadores relacionados con la gestión del inventario de materias primas en el periodo 2009–2013. La rotación de inventarios alcanza su mayor valor en el año 2013, implicando un aumento de un 29,77 % con respecto al año 2012.

Tabla 2: Comportamiento de los principales indicadores de la gestión de inventarios

Empresa “Astilleros del Oriente” Relación de indicadores logísticos Periodo 2009-2013					
Indicadores	2009	2010	2011	2012	2013
Rotación de inventario (veces)	2,57	3,35	5,01	4,40	5,71
Ciclo de inventario (días)	140	108	72	82	63
Inventario Materias Primas /Activo Circulante (%)	0,36	0,53	0,15	0,14	0,17
Inventario materias Primas /Costo de Venta (%)	0,39	0,30	0,20	0,23	0,18
Costos logísticos/Costo venta (% - sin política propuesta)					1,61
Costos logísticos/Costo venta (% - con política propuesta)					0,80

Fuente: Información de los Estados Financieros de ASTOR

El aumento en la rotación descrito anteriormente implica una disminución en el ciclo de inventario de un 23,17 % del año 2012 al 2013, traduciéndose en mayor liquidez para la empresa y una disminución de los costos de conservación, así como del riesgo de

incurrir en inventarios ociosos. Esto queda expresado, además, por la disminución de la proporción entre el inventario de materias primas y el activo circulante.

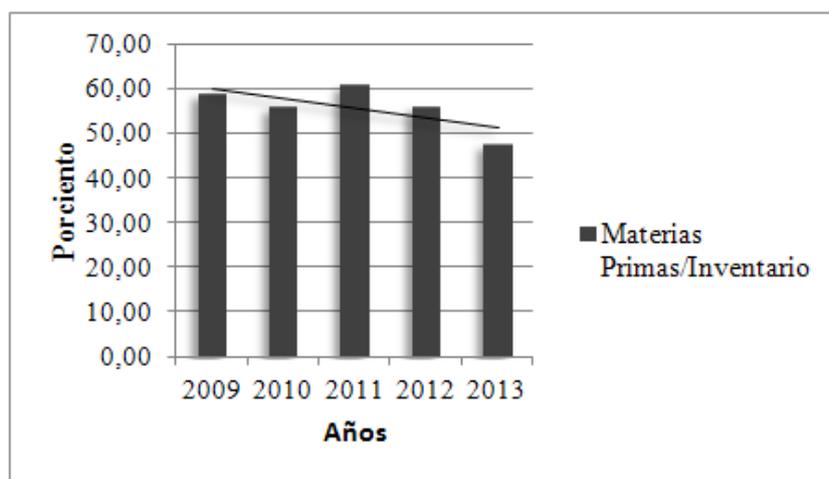


Figura 3: Comportamiento de la relación entre inventario promedio de materias primas y el inventario total
Fuente: Elaboración del autor

La figura 3, refleja el comportamiento en el tiempo de la proporción entre el inventario de materias primas y el inventario total.

Por último, al compararse el costo total relevante de la política propuesta con el costo total relevante calculado en función de los niveles promedio de existencia que mantiene la empresa para los renglones seleccionados, se obtiene, a nivel de planificación, un ahorro global ascendente a \$ 39 332,80.

Tabla 3: Comparación entre los Costos Totales Relevantes (CTR) para las cantidades de pedido óptima y promedio

Empresa "Astilleros del Oriente"			
Cálculo del ahorro, en pesos (\$), obtenido de la aplicación de la política propuesta de compras de materias primas y materiales, Año 2013			
Descripción	Lote óptimo (1)	Lote promedio (2)	Ahorro (3) = (2) - (1)
Costo Total Relevante de la política de inventario	34 682,96	74 015,76	39 332,80

Fuente: Resultados obtenidos del software SACGIN

Por último, tal como se muestra en la tabla 4, para variaciones positivas y negativas de n de hasta un 10 %, el aumento en el Costo Total Relevante será, de entre un 4,69 % y un 8,56 %, hecho que indica que dicha función es muy poco susceptible ante cambios del tamaño de lote óptimo muy cercanos a dicho valor.

Tabla 4: Análisis de sensibilidad para variaciones de hasta un 10 % en los valores de la cantidad económica del pedido

Descripción	X (unidades)	CTR _(X) (pesos)	ΔX [10 % (X)]	CTR _(X+\Delta X) (pesos)	CTR _(X-\Delta X) (pesos)	$\Delta CTR_{(X)}$ (pesos)	$\Delta CTR/CTR$ (%)
1	6,19	362,13	0,62	373,19	393,55	21,24	0,059
2	8,40	667,25	0,84	695,29	725,14	42,96	0,064
3	8,27	813,24	0,83	857,22	883,79	57,27	0,070
4	6,87	816,25	0,69	860,03	887,06	57,30	0,070
5	3,04	368,91	0,30	393,49	400,91	28,29	0,077
6	2,17	310,20	0,22	318,84	337,11	17,77	0,057
7	3,14	173,59	0,31	180,69	189,69	11,60	0,067
8	56,34	259,63	5,63	271,30	282,64	17,34	0,067
9	97,13	166,46	9,71	174,72	181,22	11,50	0,069
10	41,53	444,95	4,15	463,57	484,39	29,03	0,065
11	43,75	527,98	4,37	560,72	574,78	39,77	0,075
12	8,85	1179,57	0,88	1 194,99	1 285,57	60,71	0,051
13	37,48	417,77	3,75	447,82	455,32	33,80	0,081
14	266,42	332,80	26,64	359,53	362,06	27,99	0,084
15	261,24	339,39	26,12	345,66	369,23	18,05	0,053
16	256,36	415,03	25,64	436,01	451,52	28,73	0,069
17	179,21	395,80	17,92	398,12	430,59	18,56	0,047
18	174,91	405,53	17,49	427,17	441,18	28,65	0,071
19	182,55	388,57	18,25	411,39	422,73	28,49	0,073
20	181,27	391,29	18,13	413,93	425,69	28,52	0,073
21	201,74	439,50	20,17	458,77	478,14	28,95	0,066
22	8,71	448,09	0,87	476,75	487,48	34,03	0,076
23	44,30	347,46	4,43	352,92	378,28	18,14	0,052
24	44,09	356,69	4,41	363,78	386,91	18,65	0,052
25	89,43	860,60	8,94	899,80	936,94	57,77	0,067
26	122,02	918,71	12,20	955,43	998,41	58,21	0,063
27	84,24	441,81	8,42	461,38	480,14	28,95	0,066
28	137,55	652,01	13,76	707,09	708,57	55,82	0,086
29	45,56	787,45	4,56	833,21	855,77	57,04	0,072
30	90,66	1607,57	9,07	1 696,84	1 747,03	114,37	0,071
31	39,82	1126,09	3,98	1 148,52	1 223,78	60,06	0,053
32	54,00	1245,50	5,40	1 259,71	1 353,55	61,13	0,049
33	85,07	1054,25	8,51	1 081,63	1 145,71	59,42	0,056
34	108,46	826,90	10,85	869,94	898,64	57,39	0,069
35	41,24	543,67	4,12	560,22	590,83	31,86	0,059
36	153,19	1170,87	15,32	1 190,22	1 272,45	60,46	0,052
37	151,78	1772,64	15,18	1 850,53	1 926,42	115,84	0,065
38	44,12	508,16	4,41	523,16	552,24	29,54	0,058
39	112,34	1796,32	11,23	1 872,58	1 952,15	116,05	0,065
40	58,24	1924,78	5,82	1 992,20	2 091,76	117,20	0,061
41	64,14	2097,23	6,41	2 152,77	2 279,17	118,74	0,057
42	63,77	2109,40	6,38	2 164,10	2 292,40	118,85	0,056
43	58,56	1914,50	5,86	1 982,62	2 080,59	117,10	0,061
44	52,38	556,43	5,24	578,10	604,70	34,97	0,063

Fuente: Elaboración del autor

Conclusiones

1. *La política propuesta permite obtener, a nivel de planificación, un ahorro global en los costos totales relevantes de los renglones seleccionados ascendente a \$ 39 332,80 anuales. El indicador rotación de inventarios aumenta en el 2013, en un 29,77 % respecto al 2012, provocando esto una disminución del ciclo de inventario de 23,17 % en igual periodo. La participación de los costos logísticos en los costos de venta disminuye en un 49,68 % en el periodo analizado, y se logra reestructurar la composición del inventario, logrando que el valor del inventario de materias primas y materiales, que ha representado entre el 55 % y 60 % del valor del inventario total, con la política propuesta disminuya hasta un 47,68 %, implicando niveles más eficientes de existencias.*
2. *Las variaciones positivas y negativas de la cantidad económica de pedido de hasta un 10 %, implicarán un aumento en el Costo Total Relevante que variará solo entre 4,69 % y 8,56 %.*
3. *La utilización de un sistema profesional posibilita en una primera fase de introducción, adecuar de forma rápida cualquier cambio que tenga lugar en el conjunto de productos a analizar, a la vez que permite ubicar las acciones de organización y de administración de la entidad en un nivel cualitativamente superior a cualquier etapa, incidiendo de esta forma, en la elevación de la eficiencia.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barratt, M., Oliveira, A. (2001). "Supply Chain Collaboration: Exploring the Early Initiatives". Part one. *Supply Chain Practice*, 3 (4), p. 45.
2. Fisher, M. L., (1997). "What is the Right Supply Chain for your Product?" *Harvard Business Review*, 75, marzo-abril, p. 105-116.
3. Harris, J. K., Swatman, P. M. (1997). "Efficient Consumer Response (ECR): a Survey of the Australian Grocery Industry", ACIS'97-8th Australasian Conference on Information Systems, Adelaide, p. 137-148.
4. Malone, T., Crowston, K., (1994). "The Interdisciplinary Study of Coordination", *ACM Computing Surveys*, Marzo, 26, (1), 87-119.
5. Martínez, F. S. (2001). "Aproximación teórica a los acuerdos de cooperación empresarial". Documento de trabajo. Trabajo de Investigación. Programa de Doctorado "Administración y

- Dirección de Empresas”. Departamentos de Organización de Empresas y Economía de las Empresas. Universidad de Cádiz. España.
6. Mejías, A., Prado, C. (2001). “Logística eficiente en el sector de bienes de gran consumo alimentarios: estudio empírico en Galicia”. *Revista CEPADE*, Artículo 27, E.T.S., Ingenieros Industriales Universidad de Vigo. Recuperado el 4 de mayo de 2012, de <http://www.cepade.es/Ademas/revista29/art7.pdf#search=%22Reaprovisionamiento%20eficiente%20Ana%20Mej%C3%ADas%22>.
 7. Nagarajan, R.; Larry Whitman, S.; Hossein, C. (2000). “Enterprise Integration”. Proceedings of The 4th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice. Noviembre 17-20, San Antonio, Texas.
 8. Robins, G. (1994). “Sailing into ECR’s Uncharted Waters”. *Sotres*, New York, 76, (10), p. 43–44.
 9. Rodríguez, de Rivera José (1999). “La coordinación, dimensión esencial del organizar”. Dpto. Ciencias Empresariales, Universidad de Alcalá. Recuperado el 15 de noviembre de 2011, de http://www.uah.es/estudios_de_organizacion/temas_organizacion/org_praxis/coordinacion.htm
 10. Thomas, D, J.; Griffin, P. M. (1996). “Coordinated Supply Chain Management”, *European Journal of Operational Research*, (94), p. 1–15.