



Cuadernos de Administración

ISSN: 0120-4645

cuadernosadm@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle

Colombia

Torres Navarro, Carlos A.; Córdova Neira, Javier A.

Diseño de sistema experto para toma de decisiones de compra de materiales

Cuadernos de Administración, vol. 30, núm. 52, julio-diciembre, 2014, pp. 20-30

Universidad del Valle

Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225033236003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Diseño de sistema experto para toma de decisiones de compra de materiales

Design of Expert System for Decision Making in Materials Purchasing

Conception d'un système expert pour la prise de décisions dans l'achat de matériels

Carlos A. Torres Navarro

Profesor Investigador Departamento de Ingeniería Industrial,
Director Diplomado en Ingeniería Industrial,
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería, Ingeniero Civil Industrial
Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
E-mail: ctorres@ubiobio.cl

Javier A. Córdova Neira

Ingeniero de Planificación de Abastecimiento en Farmacias,
Cruz Verde S.A., Santiago, Chile.
Ingeniero Civil Industrial, Licenciado en Ciencias de la
Ingeniería. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
E-mail: javier.cordova@cverde.cl

Artículo de investigación científica y tecnológica

Según clasificación COLCIENCIAS

Recibido: 19/05/2014

Revisado: 29/10/2014

Aprobado: 09/12/2014

Resumen

El objetivo de esta investigación es verificar la factibilidad de integración entre las teorías de inventarios y de sistemas expertos a través del diseño de un sistema informático basado en el conocimiento para apoyar el proceso de toma de decisiones en el área de logística y abastecimiento de una empresa forestal líder en Latino América. La metodología utilizada consistió en una revisión de publicaciones científicas de acceso *online* sobre modelos de inventarios, criterios de clasificación multicriterio ABC e identificación de los componentes de sistemas expertos basados en el conocimiento. Los resultados permiten disponer de un diseño de sistema experto soportado por planillas Excel, programación de macros en *Visual Basic* e interacción con un sistema informático de planificación de recursos empresariales. Las principales conclusiones son que es factible la integración entre la teoría de inventarios, la utilización de una clasificación multicriterio ABC con la teoría de sistemas expertos basados en conocimientos de tipo tácito y explícito y además, es posible lograr una reducción del 40% del capital de trabajo retenido en inventarios.

Palabras clave: *logística y abastecimiento, modelos de inventario, multicriterio ABC, sistema experto.*

Abstract

The aim of this research was to verify the feasibility of integration between inventory theories and expert systems theories by designing an information system based on knowledge to support the decision making process in the logistics and supply area of a leading forestry company in Latin America. The methodology used consisted in a review of scientific publications, accessed online, on inventory models, multiple criteria ABC classification criteria, and identification of the components of expert systems based on knowledge. The results permit having an expert system design supported by Excel spreadsheets, macro programming in Visual Basic, and interaction with an information system on entrepreneurial resource planning. The main conclusions indicate that it is feasible to integrate between the theory of inventories, the use of a multiple criteria ABC classification with the theory of expert systems based on tacit and explicit type knowledge and, additionally, it is possible to achieve a reduction of 40% of the working capital retained in inventories.

Keywords: *logistics and supply, inventory models, multiple criteria ABC, expert system.*

Résumé

L'objectif de cette recherche est de vérifier la faisabilité de l'intégration entre les théories de stocks et des systèmes experts à travers la conception d'un système informatique basé sur la connaissance pour appuyer le processus de prise de décisions dans le domaine logistique et de provisionnement d'une entreprise forestière leader en Amérique Latine. La méthodologie utilisée consiste en une révision des publications scientifiques d'accès *online* sur des modèles de stock, des critères de classification multicritère ABC, et

de la identificación de los componentes de los sistemas expertos basados en el conocimiento. Los resultados permiten disponer de una concepción de un sistema experto soportado por hojas de cálculo Excel, programación de macros en Visual Basic e interacción con un sistema informático de planificación de recursos. Se puede concluir que es posible la integración entre la teoría de stocks, la utilización de una clasificación multicriterio ABC con la teoría de sistemas expertos basados en conocimientos de tipo tácito y explícito, y en más que es posible alcanzar una reducción del 40% del capital de trabajo retenido en stocks.

Mots-clés: *logística y aprovisionamiento, modelos de stocks, multicriterio ABC, sistemas expertos.*

1. Introducción

La función de compras dentro de una organización es la encargada de gestionar de manera oportuna y al menor costo posible los materiales (productos, repuestos e insumos) que se requieren para satisfacer sus necesidades, cumpliendo con los requisitos de precio, calidad, condiciones de entrega y condiciones de pago. Utilizar de forma óptima el capital de trabajo involucrado en inventarios, es crucial para obtener mayores rendimientos del dinero invertido, es por ello, que llevar estrategias acordes con las características de cada producto, va en beneficio directo de las utilidades que obtenga la organización (Domínguez, García, Martínez y Pozas, 2006).

El contexto de esta investigación científica tecnológica se circunscribe en una gerencia de logística y abastecimiento que debe tomar decisiones respecto de la adquisición de alrededor de 12.500 materiales para apoyar los procesos de producción de una empresa de paneles (o tableros) de madera, que forma parte de un complejo industrial siendo una de las mayores empresas forestales de América Latina (Arauco, 2014). En la empresa se carece de un método eficaz para determinar los lotes de compra eficientes, porque no se hace distinción entre tipos de materiales, frecuencia y comportamiento de su demanda, entre otros, ocasionando un capital inmovilizado sin justificación aparente de casi 14 millones de dólares en productos, repuestos e insumos, los cuales se manifiestan en productos sin rotación y niveles de reserva redundantes. Por otra parte, la gestión de los inventarios cobra relevancia porque se consideran como un amortiguador entre dos sistemas, uno de oferta y otro de demanda; el término amortiguador radica en que la cantidad disponible en bodega de cierto producto, debe soportar las variaciones que pueda experimentar la demanda o los tiempos de entrega en un período determinado (Aguilar, 2012). Además, la gestión de inventarios redundante directamente en la rentabilidad y crecimiento de la empresa y por ende, es vital para alcanzar una ventaja competitiva (Aguilar, 2009).

La revisión bibliográfica ofrece diversos modelos para apoyar la toma de decisiones de inventarios, sin pretender ser exhaustivo. Se puede resaltar que, según diversos autores, siguen estando vigentes los modelos

clásicos de lote económico (EOQ) y sus variantes, cuando se asume una demanda conocida con cierto grado de incertidumbre, los modelos de revisión continua, periódica y mixta también con sus variantes cuando se asume cierta aleatoriedad en la demanda, sobre todo durante los tiempos de entrega. En consecuencia, el modelo EOQ es recomendable para situaciones de alto consumo y frecuencias regulares (Pérez, Cifuentes, Vásquez y Ocampo, 2013; Gutiérrez, Panteleeva, Hurtado y González, 2013; Aguilar, 2009). Además, Puchades y Mula (2004) resaltan el hecho que el modelo EOQ se utiliza para productos con fecha de caducidad a largo plazo y demanda uniforme.

Por otra parte, los modelos de Wagner-Whitin y de balanceo de período fragmentado son utilizados, según se indica en Bustos y Chacón (2012), para insumos con demanda irregular. El modelo Silver-Meal se utiliza, según se indica en Torres y Rincón (2005), para artículos con demanda sin tendencia y con existencia de variabilidad y en Amat de Swert (2009), se indica que el modelo de costo unitario mínimo presenta buenos resultados en escenarios de compra de productos que exhiben una demanda esporádica y cantidades de consumo irregulares. En Chackelson y Errasti (2010) se destacan las cualidades que ofrece el modelo de inventario base el cual presenta buenos resultados para fines de compra de materiales que muestran un bajo consumo y frecuencia irregular. Finalmente, el modelo Lote a lote ha presentado buenos resultados, según se indica en Cárdenas y Rau (2013), cuando se aplica a materiales que implican un alto costo de adquisición, con demanda determinística y ambiente justo a tiempo. De modo que los aportes de la literatura investigada facilitan la tarea de identificar modelos de inventarios y segmentos de materiales, según la variabilidad y frecuencia de sus consumos históricos y así disponer en una primera etapa de un criterio para deducir una clasificación multicriterio ABC.

Por la multiplicidad de variables que intervienen en los modelos de inventarios, Casanovas (2011), indica que para seleccionar las estrategias adecuadas para cada producto, es necesario definir categorías y segmentar un portafolio de compras, de modo de desarrollar un perfil de comportamiento de cada clase de producto. En este contexto, la metodología multicriterio es más flexible que los modelos unicriterios, cuando el problema a abordar requiere considerar mucha información para realizar una buena elección.

En el ámbito de la logística y abastecimiento, llevar un eficiente control de inventarios implica diferenciar la gestión de los mismos dependiendo de las características particulares de los materiales. Es ampliamente conocido el método ABC para la clasificación de inventarios propuesto por Pareto, sin embargo, al ser un método unicriterio, que solo considera el costo anual de consumo, hace que sea difícil adoptar estrategias diferenciadas que posibiliten una gestión eficiente de los mismos.

Cuando un análisis ABC incluye dos o más criterios, este problema es llamado Clasificación ABC Multicriterio

el cual es un problema ampliamente estudiado en la literatura (Castro, Vélez y Castro, 2011). En Parada (2009), se concluye que “la formulación de un enfoque multicriterio en la aplicación del método ABC y la matriz costo de adquisición/índice de rotación constituyen dos métodos para clasificar los productos y adoptar estrategias diferenciadas que mejoran la gestión de inventario en las organizaciones. Su elección dependerá de la situación concreta de aplicación”, además, una clasificación multicriterio de inventarios de materiales va efectivamente en ayuda del control selectivo de productos, repuestos e insumos en un almacén, de modo de focalizar la atención y los recursos disponibles hacia aquellos productos que requieran, por su impacto en la continuidad del proceso productivo, una mayor dedicación.

Una de las variables determinantes en la eficacia de la aplicación de los modelos de inventario es el desafío de identificar criterios para estimar la demanda de productos o materiales; en este contexto, en Rivera (2012) se presentan los resultados de la aplicación de modelos de series de tiempo para la misma planta de tableros de madera, donde se utilizaron los siguientes modelos según los criterios de clasificación establecidos: promedios móviles, suavizamiento exponencial simple, suavizamiento exponencial doble (o método de Holt), suavizamiento exponencial triple (o método de Holt-Winters) y el método de demanda intermitente (o método de Croston). Estos aportes serán integrados en el sistema experto propuesto.

Por la multiplicidad de variables que intervienen en la toma de decisiones, tales como decisiones de compras, criterios de reposición, costos de ordenamiento y costos de mantenimiento, entre otros, la literatura especializada ofrece modelos de apoyo a la toma de decisiones en ambientes de alta complejidad basados en el conocimiento, tales como los sistemas expertos. Los sistemas expertos pertenecen a una rama de la inteligencia artificial, específicamente a los sistemas basados en conocimiento, los que a su vez son parte de la ingeniería del conocimiento, disciplina que nació para capturar y representar el conocimiento humano llevando esta actividad de un arte, a un proceso de ingeniería (Alonso, Guijarro, Lozano, Palma y Taboada, 2004) y representan actualmente una herramienta muy utilizada de la inteligencia artificial, según se indica en Cuadrado, González, Curbelo, Luna, Casas y Gutiérrez (2011).

La idea principal de los sistemas expertos es rescatar el conocimiento de uno o varios expertos humanos de un área específica y simular mediante un *software* el razonamiento que este tendría frente a una situación y proporcionada dentro del dominio seleccionado, dando como resultado conclusiones o consejos que sirven de guía a un tomador de decisiones (Liao, 2005; Esquivias, Zamora, Merino y Prieto, 2013) y así, poder interrelacionar de una manera más eficaz las múltiples variables, que en este caso, están presentes en la toma de decisiones de inventarios.

El diseño de un sistema experto requiere precisar e identificar sus componentes fundamentales y son los siguientes: la base de conocimiento (donde se aloja el conocimiento del experto humano y configurada a través de reglas de decisión); base de hechos (unidad de memoria auxiliar de naturaleza dinámica que contiene los datos específicos de la situación que se desea analizar); un componente de explicación (configuración de un módulo encargado de revelar al usuario los pasos que utilizó el sistema para entregar sus resultados); un motor de inferencia (unidad del software que se encarga de utilizar el conocimiento alojado en la base de datos para inferir conclusiones acordes con el problema planteado utilizando métodos de encadenamientos hacia atrás o hacia adelante para relacionar situaciones de entrada y soluciones factibles, o viceversa); y una interfaz con el usuario (componente que facilita la interacción entre el sistema experto y el usuario final a través de preguntas según el patrón de conversación escrito entre seres humanos).

De modo que el objetivo principal de un sistema experto es simular, mediante software, el razonamiento de un experto en un área específica para obtener conclusiones o consejos que guíen el proceso de toma de decisiones (Alonso *et al.* 2004; Liao, 2005; Ruiz y Agudelo, 2006; Pino, Gómez y De Abajo, 2001; Armendáriz, Ortiz y Schouwenaars, 2007; Tabares, Monsalve y Diez, 2013).

En la literatura consultada, sobre todo publicaciones científicas seriadas de acceso *online*, se reconocen dos tipos de conocimiento que deben incorporarse en un sistema experto, el conocimiento tácito, que es el que proviene de las buenas prácticas, es subjetivo, está en la mente de las personas; y el conocimiento explícito, que es aquel que se encuentra documentado, se dice que es un conocimiento tangible al cual podemos recurrir y consultar cuando sea necesario (Arbonies y Calzada, 2004). Para efectos de este estudio, el conocimiento tácito se rescata del personal involucrado en las compras de materiales quienes reconocen, por su experiencia, qué materiales son más prioritarios que otros, pero muchas veces en un contexto de subjetividad y poca precisión.

Para representar el conocimiento tácito, existen varias técnicas; entre las más destacadas están las reglas de producción, redes semánticas, mapas conceptuales, mapas mentales y los diagramas de flujo (Henao-Calad y Rodríguez-Lora, 2012). En esta investigación se optará por la regla de producción por su facilidad de comprensión por parte de los encargados de compra. El conocimiento explícito, que complementa el conocimiento tácito, está constituido por la teoría de los modelos de inventarios y documentos afines que describen prácticas relevantes sobre gestión de inventarios.

El proceso de diseño y desarrollo de un sistema experto requiere que se demuestren evidencias suficientes en relación con la verificación y validación del sistema; estos requisitos proveerán una mayor satisfacción de los

usuarios porque proporcionan herramientas y recursos para la realización eficiente del trabajo (García, De Amescua y Velasco, 2006). Sin embargo, en un sistema experto se debería verificar el cumplimiento de las especificaciones, base de conocimiento y además, incluir criterios de validación. En este contexto, se rescatan los aportes de Hernández (2000), que proporciona la aplicabilidad del estadístico Kappa (k) “que es una medida de acuerdo entre cada par de expertos, que introduce un ajuste eliminando del porcentaje de acuerdo, aquel que puede ser debido a la casualidad”. La expresión de este estadístico se presenta en la ecuación 1.

$$k = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \in [-1, 1] \quad (1)$$

Donde,

p_o es la proporción de acuerdo observado

p_c es la proporción de acuerdo esperado debido a la casualidad

Un valor de +1.00 de este estadístico indicará un acuerdo total y un valor de 0.00 indicará que el acuerdo se debe por completo a la casualidad. Los valores negativos se obtendrán sólo cuando el acuerdo entre los expertos sea menor incluso que el acuerdo esperado por la casualidad. Los valores mayores a 0.75 indican un nivel de acuerdo excelente; los valores entre 0.40 y 0.75 muestran un acuerdo bastante bueno a bueno, y los valores por debajo de 0.40 indican un acuerdo bastante pobre, más allá del cual, el acuerdo se podría deber simplemente a la casualidad o a una casuística poco representativa.

En resumen, esta investigación tiene como objetivo principal verificar la factibilidad de integración entre las teorías de inventarios y de sistemas expertos a través del diseño de un sistema informático basado en el conocimiento para apoyar el proceso de toma de decisiones en el área de logística y abastecimiento de una empresa forestal líder en el mercado latinoamericano.

2. Metodología

Los principales participantes lo constituyeron los encargados de compra de la unidad bajo análisis quienes poseían el conocimiento tácito, tipo de conocimiento que es reconocido como una fuente de competitividad en empresas manufactureras, según se precisa en Boisier (2001). Lo anterior debido a la experiencia de los encargados en el área de abastecimiento y compras de la empresa, sobre todo en la habilidad demostrada para reconocer las variables de inventario relevantes que inciden en los procesos de compra, variables tales como destreza para anticiparse a eventuales inexistencias, conocimiento del desempeño y efectividad de proveedores, experiencia para relacionarse con proveedores y capacidades efectivas de comunicación en su ámbito de acción, entre otros.

Las principales etapas que se consideraron para el diseño y desarrollo del sistema experto fueron las siguientes:

Una etapa de entrenamiento al personal involucrado en el proceso de adquisiciones para reconocer los dominios de conocimiento teórico con la finalidad de comprender y sustentar el desarrollo del sistema experto, además de establecer reuniones técnicas para reconocer variables de interés e importancia que tiene cada una en el contexto de la gestión de inventarios (Palma, Paniagua, Martín y Martín, 2000).

Aplicación de un cuestionario tipo Likert-Thurstone para calificar las principales variables cualitativas que consideran los encargados de compra dentro de su proceso decisional (Guil, 2005).

Utilización de los resultados de Rivera (2012) para disponer de una herramienta que permita realizar las estimaciones de consumo a través de series de tiempo para cada uno de los productos sujetos a verificación y validación.

Análisis de las características de cada material, tales como el registro histórico de consumos, frecuencia de compras durante los últimos doce meses a través de los recursos que aportaba el módulo de mariales del programa de planificación de recursos empresariales de la empresa.

Revisión y análisis de bases de datos científicas con acceso *online*, tales como SciELO y Dialnet, para rescatar los aportes de la literatura especializada en relación con teorías efectivas de gestión de inventarios y diseño de sistemas expertos.

Organización de una base de conocimiento que albergó el conocimiento tácito de los encargados de compra, esto fue complementada por el conocimiento explícito que ofrecía la teoría sobre modelos de gestión de inventario. Este conocimiento fue representado por medio de reglas de producción del tipo “sí condición, entonces acción”. Se optó por este tipo de representación, debido a la uniformidad de su estructura y la naturalidad que ofrece para expresar el conocimiento, además, es una de las técnicas utilizadas con mayor éxito para la programación de sistemas basados en conocimiento (Barceló, Alonso, De la Cruz y Cendejas, 2009). Diseño y validación de un motor de inferencia que fue validado con el personal involucrado en el proceso de adquisiciones y se consensuó la utilización del razonamiento con encadenamiento hacia adelante, donde las variables de entrada determinan el resultado.

Conformación de una base de hechos con los consumos registrados en el sistema de planificación de recursos empresariales con un horizonte de antigüedad de doce meses.

Diseño de un componente de explicación a partir de los aportes de la literatura de inventarios porque en el área bajo estudio no existía una explicación formal de las lógicas que utilizaban los encargados de compra, estas

solo se encontraban albergadas en el conocimiento tácito de ellos.

Diseño de una interfaz con el usuario, la cual consideró la compatibilidad del sistema en uso con los archivos utilizados por los encargados de compra, porque de esta forma se potencia la aplicabilidad del sistema.

La clasificación multicriterio ABC consideró diversas etapas con la finalidad de reconocer la importancia para la empresa entre los diferentes artículos, las características de variación de los consumos y la identificación de grupos de artículos con consumos homogéneos entre ellos.

Para reconocer la importancia entre los ítems de inventarios se identificaron cinco factores de interés: a) parámetros de reposición, b) área donde se utiliza un material, c) criticidad de un material, d) frecuencia de consumo últimos 12 meses y e) tiempo entre la emisión de un pedido y su llegada a la planta (tiempo de aprovisionamiento).

Con la finalidad de reconocer la importancia (o ponderación) de los anteriores factores se consideraron los siguientes atributos: a) clasificación administrativa interna de la empresa para cada factor (individualizándose un total de 35 componentes, distribuidos en los cinco factores); b) Calificación de la relevancia de cada componente por los encargados de compra utilizando una escala Likert-Thurstone de 1 a 5 (de muy irrelevante a muy relevante) en atención a los criterios utilizados para fines similares de clasificación contenidos en Guil (2005). Lo anterior consideró las propuestas contenidas en Castro *et al.* (2011); en ella se estableció una normalización de los valores que puede tomar cada variable a través de las ecuaciones 2 y 3, esto a raíz de que las partidas no comparten las mismas unidades de medida. Los valores normalizados se encuentran entre 0 y 1, siendo los cercanos a 1, los de mayor importancia.

$$yn_{ij} = \frac{y_{ij} - m_i n_{i=1,2,\dots,l\{y_{ij}\}}}{\max_{i=1,2,\dots,l\{y_{ij}\}} - \min_{i=1,2,\dots,l\{y_{ij}\}}} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^l w_j = 1 \quad (3)$$

Donde:

yn_{ij} : valor normalizado del ítem i-ésimo con respecto al criterio j-ésimo

w_j es el peso asignado al criterio j, bajo la restricción indicada en la ecuación 3.

Lo anterior cobra relevancia al detectar que no todas las variables que influyen en la compra de un material tienen el mismo nivel de importancia y en consecuencia facilita la tarea de focalizar los esfuerzos en los que son efectivamente prioritarios.

Para reconocer y precisar las características de la variación de los consumos de los productos se utilizó como criterio de diferenciación el coeficiente de variación (Cv) distinguiendo las siguientes tipos de consumos: muy regular (Cv <11%), regular (11% <Cv <16%), irregular (16%

<Cv <26%), muy irregular (Cv >26%) (Babiloni, Cardós, Albarracín y Palmer, 2007; Tapia, 2010). Estos criterios permitieron mejorar el criterio inicialmente utilizado en la empresa para reconocer diferentes tipos de consumo. La clasificación definitiva de los consumos quedó establecida en ocho tipos de consumo, según se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los consumos

	Clasificación	Descripción
A	Alto consumo – Frecuencia regular	-Cantidades consumidas mensualmente son regulares. -Se consume 12 meses en un año.
B	Alto consumo – Frecuencia irregular	-Cantidades consumidas mensualmente son irregulares. -Se consume 12 meses en un año.
C	Consumo regular – Frecuencia regular	-Cantidades consumidas mensualmente son regulares. -Intervalos de consumo son regulares.
D	Consumo irregular – Frecuencia regular	-Se presenta consumo entre 4 y 11 meses dentro de un año. -Cantidades consumidas mensualmente son irregulares. -Intervalos de consumo son regulares. -Se presenta consumo entre 4 y 11 meses dentro de un año.
E	Consumo regular – Frecuencia irregular	-Cantidades consumidas mensualmente son regulares. -Intervalos de consumo son irregulares. -Se presenta consumo entre 4 y 11 meses dentro de un año.
F	Consumo irregular – Frecuencia irregular	-Cantidades consumidas mensualmente son irregulares. -Intervalos de consumo son irregulares. -Se presenta consumo entre 4 y 11 meses dentro de un año.
G	Consumo irregular – Frecuencia puntual	-Se consume 3 o menos meses en un año
H	Devolución	-Presenta devolución de unidades a bodega.

Fuente: Torres y Córdoba (2014).

Los criterios utilizados para determinar qué modelo de inventario utilizar según cada grupo de consumos, fueron de juicio discrecional, tales como:

- grado de cumplimiento de los supuestos de un modelo en particular,
- comportamiento histórico de los consumos durante los últimos 24 meses,
- sugerencias de aplicación de algún modelo según tipos de consumo,
- sugerencias de la alta dirección de la unidad bajo estudio involucrada en la toma de decisiones de compra,

disponibilidad de información de costos de compra y ordenamiento de los productos,

- capacidades del personal involucrado en los procesos de compra,

- disponibilidad de parámetros en el sistema de planificación de requerimientos de la empresa para utilizar determinados modelos teóricos.

Para efectos de establecer los consumos y por ende alimentar el parámetro de demanda, se consideraron los aportes de Rivera (2012), porque ofrecía una estrategia de pronósticos con base en series de tiempo y que había sido aplicada con éxito a los mismos tipos de productos.

Los modelos que se consideraron en esta investigación para apoyar la toma de decisiones de compra y demás parámetros se indican en la Tabla 2, así como la

segmentación multicriterio ABC. Por otra parte, el criterio de decisión utilizado en los modelos de inventarios es de minimización de costos totales. Una mayor precisión del criterio adoptado según clasificación de consumo y clasificación multicriterio ABC utilizado, se indica en la Tabla 3.

Tabla 2. Modelos de inventario a utilizar				
Clasificación ABC multicriterio				
		A	B	C
Clasificación estadística	A	EOQ con <i>stock</i> de seguridad	EOQ básico	
	B	El sistema experto selecciona, para estos ámbitos de consumo, el modelo que presente costo mínimo entre los siguientes modelos: Algoritmo Wagner-Whitin (WW), Algoritmo Silver-Meal (SM), Costo Unitario Mínimo (CUM) o Balanceo de Período Fragmentado (BPF).		
	C			
	D			
	E			
	F			
	G	Inventario base	Lote a lote	
	H	Sin modelo, se debe analizar puntualmente		
Fuente: Torres y Córdoba (2014).				

Tabla 3. Justificación de los modelos a utilizar		
Clasificación estadística	Clasificación ABC multicriterio	Justificación
A	A	Productos que cumplen con los supuestos del modelo EOQ, sus consumos son constantes y uniforme en el tiempo, requieren disponer, dada su relevancia, con un stock de seguridad. El modelo de un solo lote se propone cuando el tamaño de lote del modelo EOQ cubra la demanda anual prevista.
A	B o C	Igual al grupo anterior pero de menor relevancia para la continuidad del proceso productivo, no es imprescindible disponer de un stock de seguridad.
B;C;D;E;F	A	El sistema experto, por la importancia de estos productos, selecciona entre cuatro modelos alternativos, el que arroje el menor costo total de inventarios, además, se consideró incluir un punto de pedido con stock de seguridad para evitar quiebres de stock.
B;C;D;E;F	B o C	El sistema experto selecciona entre cuatro modelos alternativos, el que arroje el menor costo total de inventarios.
G	A	Por la baja tasa de consumo de esta categoría de productos (menos de cuatro veces por año) se definiría una política de compra (inventario base) según sea la urgencia del requerimiento.
G	B o C	Por la baja tasa de consumo de esta categoría de productos (menos de cuatro veces por año) se define una compra bajo el enfoque Lote a lote.
H	A;B;C	No se aplica un modelo teórico, se analiza caso acaso.
Fuente: Torres y Córdoba (2014).		

Las políticas de inventario establecidas según cada clasificación de productos, aparecen en la Tabla 4.

Finalmente, se definieron cuatro conjuntos de reglas de decisión para apoyar el motor de inferencia del sistema experto y el alcance de cada uno de estos conjuntos de reglas (Tabla 5).

3. Resultados

El resultado de esta investigación lo constituye principalmente el diseño de un sistema experto que integra las orientaciones de la literatura especializada sobre modelos de inventarios con la teoría sobre sistemas expertos basados en el conocimiento. El sistema experto queda

conformado por los siguientes componentes: una base de conocimiento, una base de hechos, un componente de explicación, un motor de inferencia y una interfaz con el usuario a través de un sistema informático de planificación de recursos empresariales disponible en el área de logística y abastecimiento de una empresa.

La base de conocimiento se conformó con cuatro tipos de reglas generales: para cuantificar variables cualitativas, para realizar la clasificación ABC multicriterio, para realizar la clasificación estadística y para asignar los modelos de inventario según tipos de consumo. Luego de un proceso de verificación de coherencia de las reglas específicas en cada caso, se estableció un total de 34 reglas específicas que conformaron la base de conocimiento.

Tabla 4. Políticas de inventario

Clasif. estadística	Clasif. ABC multicriterio	Modelo de inventario	Pronosticar cantidad demandada	Pronóstico intervalos de consumo	Stock de seguridad (SS)	Punto de pedido (PP)
A	A	EOQ con SS	Con base en los promedios históricos	Se consumen todo el año	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
A	B o C	EOQ básico	Con base en los promedios históricos	Se consumen todo el año	-	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT)$
B	A	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Se consumen todo el año	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
B	B o C	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Se consumen todo el año	-	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT)$
C	A	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Demanda promedio	Mantener intervalos consumo	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
C	B o C	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Demanda promedio	Mantener intervalos consumo	-	-
D	A	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
D	B o C	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	-	-
E	A	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
E	B o C	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	-	-
F	A	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
F	B o C	Evaluar WW, SM, CUM y BPF	Pronosticar con serie de tiempo	Pronosticar con serie de tiempo	-	-
G	A	Inventario base	-	-	$S.S. = Z * \sigma_{dda} \text{ diaria}$	$P.P. = (Dda \text{ diaria} * LT) + S.S.$
G	B o C	Lote a lote	-	-	-	-
H	A;B;C	Analizar devolución	-	-	-	-

Nota: Dda: Demanda diaria; LT: Tiempo de entrega; Z: Coeficiente para nivel de servicio según distribución normal; σ_{dda} Desviación estándar de la demanda diaria

Fuente: Torres y Córdoba (2014).

La base de hechos quedó conformada por los consumos registrados con un horizonte de antigüedad de 12 meses. El sistema fue diseñado para soportar la matriz de consumos de 12.483 materiales que fueron susceptibles de analizar con el sistema y que correspondieron al total de registros históricos contenidos en el programa de planificación de

recursos empresariales (ERP) de la empresa, de manera que el sistema experto puede interactuar directamente con él. El sistema experto contiene un componente de explicación que permite informar al usuario las razones por las que hace cierta recomendación; este componente es de naturaleza rígida e inalterable frente al usuario.

Tabla 5. Reglas de decisión que conforman el sistema experto

Reglas de decisión	Alcance
1. Reglas para cuantificar variables cualitativas	Conjunto de 28 reglas de decisión para deducir el nivel de importancia que posee cada atributo de clasificación de materiales.
2. Reglas para clasificación ABC multicriterio	Conjunto de tres reglas de decisión para realizar la clasificación ABC multicriterio utilizando el principio de Pareto multicriterio.
3. Reglas para clasificación estadística	Conjunto de ocho reglas de decisión para proveer de un criterio de pronóstico de demanda y modelo de inventario.
4. Reglas para asignar modelo de inventario	Conjunto de quince reglas de decisión para relacionar clasificación de materiales en planta, clasificación multicriterio, punto de ordenamiento y stock de seguridad.

Fuente: Torres y Córdoba (2014).

El motor de inferencia fue configurado con participación de los involucrados en las compras de materiales y el criterio adoptado fue un encadenamiento hacia adelante, de modo que las variables de entrada determinan el resultado sugerido por el sistema experto.

La interfaz del usuario fue integrada por una plataforma de planillas Excel, acompañadas de programación de macros, en Visual Basic, con dos módulos, uno de acceso general de usuarios que permite ingresar datos e interactuar con el sistema sin alterar los parámetros preestablecidos, y otro módulo con restricción de acceso para actualizar parámetros, base de conocimiento y base de hechos.

El proceso de verificación de la eficacia del sistema experto consideró los siguientes ámbitos:

Verificación de la incorporación de los conceptos propios asociados con los modelos de inventario y requerimientos de constructo de los sistemas expertos.

Verificación de la adecuación de la base de conocimiento de modo de comprobar que las reglas de decisión funcionen adecuadamente y además, comprobar que el sistema experto funciona con razonamiento exacto, es decir, que las variables de entrada sean precisas o que no existen variables “difusas” que puedan generar un conflicto al utilizar este tipo de razonamiento.

Verificación del correcto funcionamiento de la interfaz con el usuario de modo que exista fluidez en la interacción entre el sistema experto y las bases de datos que utilizan los encargados de compra.

Verificación del grado de protección del sistema de modo de resguardar la base de conocimiento frente a usuarios no autorizados.

Verificación del funcionamiento de los mecanismos de inferencia, el cual fue hecho utilizando un total de 24 artículos ficticios, cada uno de ellos representando una de las posibles combinaciones que es capaz de evaluar el sistema experto. Se utilizaron artículos ficticios para asegurar la evaluación de todos los casos posibles, comprobando que el sistema generó recomendaciones de forma correcta para los 24 artículos.

La verificación de la base de conocimiento consistió en análisis de consistencia y completitud. La consistencia para comprobar la coherencia de las reglas de decisión y las condiciones IF innecesarias o redundantes. La completitud estaba enfocada en observar los valores no referenciados, ilegales o atípicos.

Finalmente, la validación del sistema experto se hizo utilizando el estadístico Kappa, que es una medida de acierto entre el sistema y un experto humano. Se optó por esta técnica cuantitativa, porque ofrece un rango de interpretación de sus valores, además, ajusta los porcentajes de acierto para eliminar aquellos que son atribuibles a la casualidad, de esta forma la validación se realiza objetivamente. El estadístico Kappa para el área bajo estudio registró un valor de 0.6 indicando que tiene un nivel de acuerdo de bueno a bastante bueno.

Para efectos de verificar las prácticas en uso vs. las recomendaciones del sistema experto en relación con sus parámetros de reposición, se analizaron 1.930 artículos, de ellos se observó que 286 deben mantener sus parámetros de reposición actuales, 200 deben subir sus parámetros de reposición y 1.444 artículos debían disminuir sus parámetros de reposición por estar sobredimensionados.

El criterio utilizado para identificar los materiales que debían disminuir sus parámetros de reposición fue la cuantificación del capital de trabajo retenido en bodega a través de las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$PP_i = PP_{se_i} = \Delta PP \quad (4)$$

$$\Delta PP_i \times C_i = CR_i \quad (5)$$

$$TCR = \sum_{i=0}^n CR_i \quad (6)$$

Dónde

PP_i = punto de pedido actual del material i.

PP_{se_i} = punto de pedido propuesto por el sistema experto para el material i.

ΔPP_i = Exceso de inventario del material i.

C_i = Costo del material i.

CR_i = Capital retenido del material i.

TCR = Capital de trabajo total retenido en bodega.

El resultado obtenido, indicó que el capital de trabajo retenido en materiales que no tenían rotación era del orden de US\$843.000. La magnitud de la estimación anterior se fundamenta en dos causas: por un lado, la realización de órdenes de compra de materiales en forma arbitraria y sin justificación aparente y por otro lado, la falta de fundamento técnico y teórico para definir los parámetros de reposición de inventarios.

4. Discusión

El origen de este estudio surge ante la necesidad de reducir el capital de trabajo retenido en inventarios, reducir los costos totales de inventarios involucrados y mejorar la eficiencia de la unidad de abastecimiento y bodega de una gran empresa elaboradora de tableros de madera.

El problema principal radica en la ausencia de mecanismos efectivos para definir criterios efectivos de gestión de inventario, tamaños de lote económicos de compra, parámetros de reposición, definición de niveles de *stock* adecuados, entre otros.

Si bien en la empresa existía un criterio de clasificación ABC básico para los materiales, este no era efectivo porque no integraba en un solo indicador, las diversas variables relevantes que caracterizaban a cada material que es de una naturaleza heterogénea. No obstante, la experiencia del personal involucrado poseía el conocimiento tácito para distinguir la urgencia de una gestión de compra pero no la capacidad para realizar una gestión de compra eficiente para soportar una decisión fundamentada en relación con tamaños de lote, frecuencia de pedido, nivel de *stock* y modelo de revisión.

La literatura especializada ofrecía diversos enfoques y modelos de inventario aplicados en diversos escenarios, así como modernas estrategias de clasificación ABC, además, ofrecía aplicaciones y metodologías relacionados con el diseño de modelos basados en el conocimiento de modo, sin embargo, no se detectó en la literatura investigada evidencias de una integración entre gestión de compras y sistemas expertos.

La validez de los resultados obtenidos permitió resaltar el rol del personal de compras debido a que aportaron eficazmente su conocimiento tácito para deducir las variables relevantes de cada material y su grado de importancia en la empresa, de esta forma fue posible realizar una clasificación ABC multicriterio eficaz para una gestión de inventarios más oportuna.

El resultado de la utilización del sistema experto permite clasificar los materiales de acuerdo con su real importancia, utilizando el concepto de multicriterio, presenta el resultado de los parámetros óptimos de cada material con base en el comportamiento de sus consumos históricos y entrega una estrategia de compra que ayuda a disminuir los costos totales anuales.

El sistema experto fue validado mediante el estadístico de Kappa, que es una medida de acierto entre el sistema y un experto humano. Este estadístico arrojó un grado de acierto de bueno a bastante bueno, por lo tanto, las recomendaciones que genera se pueden considerar adecuadas y mejores que antes se utilizaban para atender las necesidades reales de cada material.

Se efectuaron pruebas piloto con 1.930 materiales (utilizando un enfoque de juicio) que tenían definido los criterios de reposición explícitos, obteniendo resultados

conformes en términos de identificar aquellos que resultada adecuado mantener sus niveles de reposición, a diferencia de otros en que era más adecuado subir o bajar los niveles de reposición según el tipo de material bajo análisis.

Por otra parte, el sistema experto también ofrece una estrategia diferenciada para estimar el consumo futuro presentando modelos de pronóstico alternativos según se haya comportado la demanda de cada material durante los últimos doce meses (utilización del promedio de consumos cuando se trate de consumos con bajo coeficiente de variación y uso de series de tiempo en caso contrario).

Las limitantes que presenta el sistema experto, por una parte, es la no inclusión de restricciones de capacidad para las órdenes de pedido óptimas quedando en manos de los usuarios la decisión cuando se detecte la no factibilidad de almacenar los materiales en las instalaciones disponibles; por otra parte, es el criterio establecido para determinar los *stock* de seguridad los cuales, en trabajos futuros, se debería analizar la opción de tratar la demanda de manera dinámica para introducir comportamientos más factibles que sucedan en el futuro, mejorando así la calidad de esas estimaciones.

El sistema experto fue diseñado para una planta de tableros nacional, el que puede ser replicado en las otras plantas del complejo porque participan en el mismo tipo de industria, o incluso en otros tipos de empresas, pues la gestión de inventarios es una importante fuente de competitividad en empresas de manufactura.

Los resultados obtenidos en las pruebas piloto del sistema experto, reafirman que la utilización de una política de lotificación poco rigurosa, produce un *stock* redundante generando costos que se pueden disminuir al conjugar la teoría de inventarios con los recursos que ofrecen los sistemas basados en el conocimiento.

5. Conclusiones

La revisión del estudio del arte permite identificar un conjunto de modelos de inventarios que pueden ser utilizados en la toma de decisiones de compra en una empresa de paneles de madera según variabilidad y frecuencia de los consumos. Los modelos utilizados fueron EOQ con *stock* de seguridad, EOQ básico, Wagner-Whitin, Silver-Meal, Costo unitario mínimo, Balanceo de período fragmentado, Inventario base y Lote a lote.

Es factible integrar la teoría de inventarios con los requisitos que impone el diseño de un sistema experto. El sistema experto propuesto incluye una base de conocimiento participativa, un motor de inferencia conformado por 33 reglas del tipo If-Then, una base de hechos soportada a través de un sistema ERP, un componente de explicación conformado por ocho modelos de inventario alternativos para generar políticas de aprovisionamiento de materiales en un contexto de cla-

sificación multicriterio ABC a mínimo costo y una interfaz de usuario utilizando los recursos de Office.

La validación y verificación del sistema experto presenta un grado de acuerdo satisfactorio según los usuarios directos (encargados de compra) debido a que el índice Kappa utilizado para contrastar la respuesta del sistema experto y el criterio tácito de los usuarios, arroja un valor de 0,6.

El sistema experto permite reconocer que de un total de 1.930 artículos analizados, 15% debería mantener sus parámetros de reposición, 10% debería subir sus parámetros de reposición y 75% debe bajar sus parámetros de reposición establecidos.

Los resultados de esta investigación permiten afirmar que con la aplicación de los modelos de inventarios se pueden cambiar los parámetros de reposición existiendo un potencial de reducción del capital de trabajo retenido en inventarios de un 40% y que para efectos de planificar las cargas de trabajo del personal involucrado esta podría abocarse de manera preferente solo al 21,5% de los artículos bajo su ámbito de acción.

6. Referencias

- Aguilar, G. (2009). Gestión de inventarios como factor de competitividad, en el sector metalmecánico de la región occidental de Venezuela. *Revista de Ciencias Sociales*, 15 (6). Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1315-95182009000300012&script=sci_arttext
- Aguilar, P. (2012). Un modelo de clasificación de inventarios para incrementar el nivel de servicio al cliente y la rentabilidad de la empresa. *Pensamiento y Gestión*, 32. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64623932007>
- Alonso, A., Guijarro, B., Lozano, A., Palma, J., & Taboada, M. (2004). *Ingeniería del conocimiento: Aspectos metodológicos*. Madrid, España: Pearson.
- Amat de Swert, J. M. (2009). *Estudio para la implantación del sistema MRP de planificación y control de la producción de una empresa productora de maquinaria de control numérico* (Tesis de Ingeniería en organización Industrial). Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7470/1/Memoria.pdf>
- Arauco, S. A. (s.f.). *Información corporativa*. Recuperado 10/04/2014 de http://www.arauco.cl/informacion.asp?idq=681&parent=631&ca_submenu=631&idioma=21
- Arbonies, Á., & Calzada, I. (2004). El poder del conocimiento tácito: por encima del aprendizaje organizacional. *Intangible Capital*, 6. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2896/1/El%20poder%20del%20conocimiento%20t%C3%A1cito.pdf>
- Armendáriz, V., Ortiz, A., & Schouwenaars, R. (2007). SEAFEM: Herramienta computacional para la determinación de causas de falla en elementos mecánicos metálicos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 4. Recuperado de <http://www.journals.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/13479>
- Babiloni, E., Cardós, M., Albarracín, J. M., & Palmer, M. (2007, sep.). Revisión y clasificación de los métodos de categorización de la demanda. *Trabajo presentado en International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Universidad Politécnica de Valencia. Madrid, España. Recuperado de http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2007/manufacturing_management//0429_0438.pdf
- Barceló, G., Alonso, M., De la Cruz, A., & Cendejas, E. (2009). Medidas de complejidad cuantitativas para sistemas expertos basados en reglas. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 13 (43). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92513169002>
- Boisier, S. (2001). Sociedad del conocimiento, conocimiento social y gestión territorial. *INTERAÇÕES. Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, 2 (3). Recuperado de http://www3.ucdb.br/mestrados/RevistaInteracoes/n3_sergio_boisier.pdf
- Bustos, C., & Chacón, G. (2012). Modelos determinísticos de inventarios para demanda independiente. Un estudio en Venezuela. *Contaduría y Administración*, 57. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39523153011>
- Cárdenas, R., & Rau, J. (2013). *Análisis y propuesta de mejora para la gestión de abastecimiento de una empresa comercializadora de luminarias*. (Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4541>
- Casanovas, A. (2011). *Estrategias avanzadas de compras y aprovisionamiento*. Barcelona, España: Profit Editorial.
- Castro, C., Vélez, M., & Castro, J. (2011). Clasificación ABC Multicriterio: tipos de criterios y efectos en la asignación de pesos. *ITECKNE*, 8 (2). Recuperado de http://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Frevistas.ustabuca.edu.co%2Findex.php%2FITECKNE%2Farticle%2Fdownload%2F35%2F14&ei=gNsDU_ykNofsoQHoh4GQAw&usq=AFQjCNF_WH8WwuZYZ8k2xavA-KLx2S7n7Q
- Chackelson, C., & Errasti, A. (2010, sep.). Validación de un sistema experto para mejorar la gestión de inventarios mediante estudio de caso. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 8. Recuperado de http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_229_Validacionsistemaexperto_Chackelson_Errasti.pdf
- Cuadrado, S., González, E., Curbelo, H., Luna, Y., Casas, G., & Gutiérrez, I. (2011). Sistema experto basado en casos para el diagnóstico de la hipertensión arterial. *Revista Facultad Ingeniería Universidad Antioquia*, 60. Recuperado de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/13748/12198>
- Domínguez, A., García, G., Martínez, I., & Pozas, C. (2006). *Los modelos de portafolio para el análisis y desarrollo de estrategias de la gestión de compras y aprovisionamiento* (Tesis de Grado, Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas). Recuperado de <http://www.umoar.edu.sv/tesis/administracion%20de%20empresas/aprovisionamiento/Gestion%20de%20Compras%20y%20Aprovisionamiento%201.06.pdf>
- Esquivias, J., Zamora, A., Merino, M., & Prieto, C. (2013). Validación de un sistema experto como ayuda al aprendizaje de la citología cervicovaginal para formación de citotécnicos, 16 (1). Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/fem/v16n1/original5.pdf>
- García, J., De Amescua, A., & Velasco, M. (2006). Top 10 de factores que obstaculizan la mejora de los procesos de verificación y validación en organizaciones intensivas

- en software. *Revista Española de innovación, calidad e ingeniería de software*, 12 (2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/922/92220204.pdf>
- Guil, M. (2005). Escala mixta Likert-Thurstone. *Anduli: Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, (5). Recuperado de <http://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdiagonalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F2151095.pdf&ei=ZNOdu-i4OpCAoAHSooD4Bg&usg=AFQjCNHGoozaTE-4BSH1zTZf2bKQ1zbOQ>
- Gutiérrez, E., Panteleeva, O., Hurtado, M., & González, C. (2013). Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIV (4). Recuperado http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ ejemplares/V14N4/V14N4_art07.pdf
- Henao-Calad, M., & Rodríguez-Lora, V. (2012). Modelo de conocimiento conceptual como apoyo a la Ingeniería del Conocimiento. *Ingeniare*, 20 (3). Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v20n3/art15.pdf>
- Hernández, E. (2000). *Técnicas de inteligencia artificial e ingeniería del software para un sistema inteligente de monitorización de apneas en sueño* (Tesis doctoral, Universidad de Acoruña). Recuperado de http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/5544/2/HernandezPereira_Elena.tesis.pdf
- Liao, S. H. (2005). Expert system methodologies and applications - A decade review from 1995 to 2004. *Expert System with Applications*, 28 (1). Recuperado de http://ac.els-cdn.com/S0957417404000934/1-52.0-S0957417404000934-main.pdf?_tid=2f794598-98ec-11e3-9b94-00000a0b0f02&acdnat=1392762772_a97bdo89a89afd1bef51b2a0d97f5756
- Palma, J., Paniagua, E., Martín, F., & Martín, R. (2000). Ingeniería del conocimiento. De la extracción al modelado del conocimiento. *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 4 (11). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92541105>
- Parada, O. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuadernos de Administración*, 22 (3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/205/20511730009.pdf>
- Pérez, I., Cifuentes, A. M., Vásquez, C., & Ocampo, D. (2013). Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios. *Ingeniería Industrial*, XXXIV (2). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S18159362013000200011&script=sci_arttext
- Pino, R., Gómez, A., & DeAbajo, N. (2001). *Introducción a la ingeniería artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva*. [Versión electrónica]. Recuperado de <http://books.google.cl/books?id=RKqLMCw3lUkC&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+ingenier%C3%ADa+Artificial:+Sistemas+Expertos,+Redes+Neuronales+Artificiales+y+Computaci%C3%B3n+Evolutiva&source=bl&ots=iEMCj2zo7T&sig=Q9dUuGAoT9l8qqGtBouG7lGwjQe&hl=es-419&sa=X&ei=iWuFU4nlAoLmoATojL4Bg&ved=0CDAQ6AEwAw#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20ingenier%C3%ADa%20Artificial%3A%20Sistemas%20Expertos%2C%20Redes%20Neuronales%20Artificiales%20y%20Computaci%C3%B3n%20Evolutiva&f=false>
- Puchades, L., & Mula, J. (2004, Septiembre). Aplicación de Métodos Cuantitativos para la Gestión de Stocks en la Empresa Semacaf, S.L. Trabajo presentado en VIII Congreso de Ingeniería de Organización Leganés. Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización: Madrid, España. Recuperado 10/12/2014 de <http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2004/comunicaciones/91-99.pdf>
- Rivera, R. (2012). *Desarrollo de modelo y herramienta para la reposición de stock de bodega materiales de Panales Arauco S.A.* (Tesis de grado). Universidad del Bio-Bio: Concepción, Chile.
- Ruiz, M. I., & Agudelo, J. (2006). Planificador de rutas turísticas basado en sistemas inteligentes y sistemas de información geográfica RUTASIG. *Avances en sistemas e informática*, 3 (2). recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1331/133114988008.pdf>
- Tabares, H., Monsalve, D., & Diez, D. (2013). Modelo de sistema experto para la selección de personal docente universitario. *Tecnológicas*, (30). Recuperado de <http://itmojs.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/404/458>
- Tapia, F.J. (2010). *Estadística aplicada a las licenciaturas: administración, contaduría e informática administrativa*. Hermosillo, México. Recuperado 10/12/2014 de http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Prototipos/public_html/Notas%20de%20Clase/Mis%20Notas%20Tema%20I.pdf
- Torres, D., & Rincón, J. (2005). *Modelo de control y manejo de inventarios de repuestos para la aerolínea AIRE S.A.* (Tesis de grado, Universidad de la Sabana). Recupero de <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/7058/1/124637.pdf>

