

MODELO PARA LA SELECCIÓN DE SOFTWARE ERP: EL CASO DE VENEZUELA

CASTRO NATALIA, BORGES ANA MARÍA, BAQUERO NANCY, RODRÍGUEZ SIMÓN
Departamento de Procesos y Sistemas Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

Recibido: enero de 2005

Recibido en forma final revisado: marzo de 2006

RESUMEN

Los sistemas para la planificación de los recursos empresariales ERP se han convertido en un elemento indispensable para las empresas de manufactura. Estos sistemas comprenden una serie de herramientas gerenciales que soportan el proceso de toma de decisiones, facilitan una completa integración de las diferentes áreas de negocio de la compañía, contribuyen a generar alta productividad en las cadenas de suministro y reducción de costos e inventarios, entre otros muchos beneficios. Por lo anterior, la selección del software que soporta los sistemas ERP es un paso que necesita gran atención. Con el fin de mejorar la eficiencia y efectividad de este proceso de selección, se propone en este trabajo, un modelo que permite encontrar la alternativa más adecuada para cada organización y lograr la eficiencia en este proceso. El modelo toma en cuenta la experiencia de algunas empresas de manufactura en Venezuela, que han implantado este tipo de software y permite que cada organización incorpore sus necesidades específicas y criterios particulares, como variables de entrada. Se utilizaron los factores de selección presentados en el artículo «Factors for the selection of ERP software in large manufacturing companies: the venezuelan case» [Castro, 2004] y se empleó la metodología del proceso de jerarquía analítica utilizando la herramienta estadística del clustering jerárquico.

Palabras claves: Software ERP, modelo de selección, proceso de jerarquía analítica, clustering jerárquico, sistemas empresariales.

MODEL FOR THE SELECTION OF ERP SOFTWARE: THE VENEZUELAN CASE

ABSTRACT

Enterprise Resource Planning Systems (ERP) have become critical elements in the manufacturing field. An ERP system consists of a set of managerial tools that support the decision-making process, generate full integration among the functional areas of the company, produce high levels of productivity in the supply chain and reduce the company costs and inventories, among many other benefits. However, the ERP software selection process is not an easy task and needs special attention. In order to make this process as effective and efficient as possible, a model is proposed in this article. This model allows companies to find the alternative most suitable for the organization requirements, considering the experience of other companies that have already used ERP systems in order to obtain efficiency in the selection process as well as in the system implementation and operation. The model takes into account the expertise from venezuelan companies, that have previously implemented ERP software and allow the organization to incorporate their specific needs and particular criteria, as input variables. The model was developed based on the article: «Factors for the selection of ERP software in large manufacturing companies: the venezuelan case» [Castro, 2004], applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) and using statistical tools as cluster analysis.

Keywords: Software ERP, selection model, analytic hierarchy process, hierarchic clustering, management systems.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda del aumento de competitividad, las empresas deben explorar vías para integrarse en la cadena de suministros y para ello es necesaria una plataforma tecnológica idónea a cada tipo de organización y apta para

el área de negocios donde se desempeñe la empresa en particular. El actual proceso de globalización exige a las organizaciones permanente interacción en tiempo real con proveedores, clientes y el entorno empresarial. Las soluciones de tecnología de software que soportan la gerencia de los sistemas empresariales son los sistemas ERP,

siglas con las que comúnmente se conoce a los softwares para la Planificación de los Recursos Empresariales, los cuales se caracterizan por su capacidad de modelar y automatizar la mayoría de los procesos básicos de una organización, desde la orden de venta hasta la distribución del producto, abarcando las funciones de logística, producción, contabilidad, finanzas, recursos humanos y administración de órdenes de venta. Los sistemas ERP son la evolución de los sistemas MRP (Planeación de los Requerimientos de Materiales) y MRP II (Planeación de los Recursos de Manufactura), de los años 70 y 80. La decisión de implementar sistemas ERP es de alto impacto en todo tipo de organización, generando costos de licencias, costos de implementación, optimización de procesos, adiestramiento de personal, pruebas, inversiones en hardware, además de los costos intangibles. Es por ello que, para que la adopción y puesta en marcha de sistemas ERP, maximice su utilidad, es necesario hacer una óptima selección.

A fin de dar respuesta a esta necesidad, las empresas de software han desarrollado combinaciones de paquetes para cubrir las diversas necesidades de los usuarios (Ayers, 2001). Esta situación dificulta el proceso de selección del software más adecuado a las características y necesidades de cada organización. Ante la diversidad de softwares disponibles para las empresas, surge la conveniencia de contar con un modelo para la evaluación y selección de la tecnología más adecuada para las empresas e industrias.

En este trabajo se presenta un modelo, que con base en una serie de factores previamente identificados, permite seleccionar el software más adecuado para las necesidades de la organización mediante una metodología de decisión multicriterio que toma en consideración las recomendaciones y resultados de las empresas de manufactura encuestadas en Venezuela, plasmados en la jerarquización de los factores de selección.

Primeramente, se revisa la bibliografía relacionada con la definición de factores relevantes en la selección de softwares ERP y los métodos o modelos utilizados por diversos autores. Habiendo seleccionado el proceso de jerarquía analítica para la formulación del modelo, se revisan los fundamentos teóricos de esta herramienta. Seguidamente se muestra el esquema jerárquico propuesto y se esquematiza el modelo presentado. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los sistemas ERP permiten la más adecuada integración de las funciones de negocios de las empresas, permitiendo

la vinculación en línea de todas las transacciones de la organización así como el mantener el flujo de información de forma eficiente. Las empresas se interesan en implantar un software ERP a fin de mejorar su competitividad, controlar sus operaciones e integrar su información.

La selección de un sistema ERP es un proceso complejo que se ve afectado por la cultura informática de la organización, su resistencia al cambio, y la cantidad de recursos de dinero, tiempo y esfuerzo que la organización está dispuesta a invertir. Este proceso debe ser corto y requerir de pocos recursos. Sin embargo, por eso, no debe ser menos riguroso el proceso de selección del sistema o software a implantar. En los últimos años, diversos estudiosos se han avocado al análisis y determinación de los factores más relevantes en la selección del sistema.

Sarkis y Sundarraj (2000), presentaron una discusión conceptual con relación a la categorización de los factores que pudieran ser considerados en el proceso de decisión de tecnologías de información empresarial («Enterprise Information Technologies», EIT's). En Sarkis y Sundarraj (2001) introdujeron el uso de procesos analíticos de jerarquización («Analytic Hierarchy Process», AHP) con la posibilidad de integrar un rango de factores (estratégicos, operacionales, tangibles e intangibles) en un solo modelo.

Piippo *et al.* (1999), propusieron el empleo de sistemas de soporte de decisiones («Group Decision Support Systems», GDSS) para la evaluación de tecnología con múltiples criterios. Torkkeli y Tuominen (2001), plantearon las ventajas y problemas del empleo de sistemas de soporte de decisiones («Group Decision Support Systems», GDSS) para la selección de tecnología en el ámbito empresarial.

Bernroider y Koch (2000) condujeron un estudio empírico concerniente a las diferencias entre empresas grandes y pequeñas en el proceso de selección de un sistema ERP. En él, asignaron pesos a 29 criterios básicos utilizados por las empresas e identificaron aquellos que eran preferidos dependiendo del tamaño de la firma.

Verville(2002)¹ y Halington (2002)² (2003) emprendieron diversas investigaciones para determinar cuál es la mejor manera de adquirir un software ERP y cuáles son los procesos que siguen las empresas para ello. En Verville y Halington (2002)¹ analizaron los casos de cuatro empresas que adquirieron soluciones ERP. Todas las empresas tuvieron que crear procesos ad-hoc basados en técnicas gerenciales, conocidas por los equipos de trabajo, mediante la utilización de cuestionarios, matrices, debido a la inexistencia de una metodología formal. En el mismo año, los mismos autores, analizaron el caso de la empresa ESC

(nombre ficticio) (Verville, 2002)², que utilizó criterios para la evaluación del proveedor de software, la funcionalidad del sistema, sus características técnicas, su facilidad de uso y su costo. En este caso, el proceso de selección se basó en la suma de factores ponderados de acuerdo a pesos previamente establecidos. Los mismos autores (Verville, 2003), analizaron el procedimiento seguido por la empresa Keller Manufacturing para la selección de un sistema ERP, como caso de estudio relativo a las empresas medianas. De esta experiencia, Verville y Halington concluyen que Keller tuvo que desarrollar procedimientos ad hoc para la selección del software a medida que el proceso fue avanzando, dada la poca experiencia previa en el área.

Razi y Tarn (2002) proponen tres niveles de análisis para toma de decisión sobre la adquisición de un sistema ERP en empresas pequeñas, con menos de 500 empleados: a) Evaluación de las capacidades de la firma, b) Determinación de la necesidad de adquirir un sistema ERP, y c) Comparación de los distintos proveedores de software. Para ello proponen factores que deben tomarse en consideración en cada una de estas etapas.

Sarkis y Talurri (2004), evaluaron las complejidades de la evaluación en empresas multi-organizacionales e introdujeron varios factores presentando una base decisional para ayudar a los miembros de la cadena de suministros en decidir cuál será la tecnología y el software más adecuado para toda la cadena de suministros. En este trabajo presentaron medidas tanto cualitativas como cuantitativas para la evaluación y justificación de estos sistemas, mediante el empleo de procesos analíticos de jerarquización («Analytic Hierarchy Process», AHP) y de Programación de Objetivos (Goal Programming).

Sarkis y Sundarraj (2003) introdujeron un modelo de decisión gerencial multiatributo multietapa basado en el empleo de procesos analíticos de jerarquización («Analytic Hierarchy Process», AHP) y en el Enfoque Supermatricial («Supermatrix Approach»), también llamado Proceso Analítico de Redes («Analytic Network Processes», ANP Approach). Sarkis y Sundarraj recomiendan los factores: neutralidad en la plataforma e interoperabilidad, escalabilidad, seguridad, confiabilidad, soporte, facilidad de uso y valor percibido.

Botella *et al.* (2003) proponen la adopción de un modelo conceptual de calidad con el fin de estructurar la descripción de las capacidades de los softwares ERP. Mediante este modelo de calidad, las propiedades de los softwares se descomponen en características, y éstas a su vez en subcaracterísticas específicas de los distintos softwares a evaluar. Botella *et al.* (2003) proponen la utilización de

características o atributos generales como: funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad. Cada uno de estos atributos, a su vez es desglosado en subatributos. Estos subatributos se jerarquizan, se determinan las relaciones entre ellos y determinan métricas para su evaluación.

Baki y Cakar (2005) identificaron 17 criterios básicos para la selección de un software ERP, y determinaron la importancia relativa de estos criterios de acuerdo a una investigación en campo sobre empresas turcas, concluyendo que las empresas deben escoger la solución acorde a sus necesidades, utilizando una metodología en el proceso de selección. Sin embargo, Baki y Cakar (2005) se limitaron a la identificación de los criterios más relevantes. Buonanno *et al.* (2005) condujeron en 2005, una investigación empírica sobre los factores que provocan la adopción de sistemas ERP en las empresas, concluyendo que el tamaño de las mismas es uno de los factores que condicionan su implantación.

Castro *et al.* (2004) identificaron 40 factores influyentes en la selección de los softwares ERP, los cuales toman en consideración elementos indispensables de evaluar, al escoger posibles aplicaciones que puedan implantarse en una empresa manufacturera. Estos factores fueron ordenados y valorados jerárquicamente (Castro, 2004).

Esta lista jerarquizada de factores de selección de software ERP (Castro, 2004), capturó el conocimiento de empresas venezolanas pertenecientes a la industria manufacturera con años de experiencia en el manejo de este tipo de programas, a través de la realización de encuestas. De acuerdo a este trabajo (Castro, 2004), las empresas deben considerar los factores que se presentan en la Tabla 1.

La ponderación y jerarquía relativa de cada factor presentado (Castro, 2004) se calculó cuantificando las cinco posibles respuestas obtenidas de las encuestas aplicadas a empresas de manufactura en Venezuela sobre cada uno de los factores. Dichas respuestas eran: vital, muy importante, importante, poco importante e irrelevante.

El modelo que aquí se propone, se basa en la lista de factores y la jerarquía relativa presentada por Castro *et al.* (2004), considerando los criterios de las empresas de manufactura encuestadas en Venezuela, plasmados en la lista de factores jerarquizados, mostrados en la Tabla 1.

El modelo permite jerarquizar las opciones de software con base en los puntajes obtenidos sobre los factores y la importancia relativa de distintas tipologías de factores

Tabla 1. Lista jerarquizada de factores de selección. Fuente: [Castro, 2004]

Factor	Puntaje
Seguridad de los datos, bases de datos, procesos	4.758
Mayor confiabilidad	4.670
El sistema contiene los módulos necesarios para llevar las operaciones diarias de la empresa	4.505
Capacidad del sistema acorde con el crecimiento potencial de la empresa	4.500
Soporte del proveedor, capacidad de entrenamiento, respuesta a problemas	4.478
Software probado con éxito	4.429
Capacidad del sistema acorde con los objetivos de la empresa	4.341
Más transparencia y mejor flujo de información	4.318
Adaptabilidad y flexibilidad de software	4.295
Mayor satisfacción	4.233
Amistosa al usuario, fácil de usar	4.233
Beneficios vs. Inversión (ROI)	4.150
Entrenamiento requerido para los empleados	4.098
Adaptabilidad del hardware y software existentes en la empresa	4.039
Duración de ciclos más cortos	3.937
Disponibilidad de soluciones para áreas del negocio	3.911
Recursos tecnológicos requeridos para la implantación	3.897
Conversión monetaria	3.883
El sistema es modular con componentes	3.789
Estabilidad del producto del proveedor	3.778
El software es escalable	3.765
Comunicación con clientes y proveedores de la empresa	3.757
Costo del software	3.720
Costo de mantenimiento del software	3.720
Software ergonómico	3.712
Modificaciones del usuario sin disponibilidad de la fuente	3.687
Recursos humanos requeridos para la implantación	3.667
Tamaño del proveedor	3.606
Relación	3.592
Costo de adquisición / Costo de implementación	3.592
Internacionalidad del software	3.567
Disponibilidad de la fuente para las modificaciones del usuario	3.559
Independencia del sistema operativo (plataforma independiente)	3.533
Tiempo para la implantación	3.441
Estabilidad financiera del proveedor	3.431
Mejora en los servicios de internet	3.413
Mejora de soporte para e-commerce	3.375
Número de clientes satisfechos por el proveedor	3.373
Guía de una compañía modelo	3.369
Posición en el mercado del proveedor	3.317
El software está basado en una industria vertical	3.192

siguiendo la metodología del Proceso de Jerarquía Analítica, proponiendo un paso adicional al presentado por Sarkis y Talurri (2004) y Sarkis y Sundarraj (2003), pues toma en cuenta las especificaciones y necesidades de la empresa que va a adquirir el software, al afectar la ponderación de dichos factores de selección, de acuerdo a los objetivos organizacionales y tipo de industria específicos de la empresa que va a adquirir el software.

METODOLOGÍA DEL PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA

La metodología del Proceso de Jerarquía Analítica («Analytic Hierarchy Process», AHP), desarrollada por T. Saaty (1980), es un sistema flexible de análisis de decisión multicriterio, para ayudar a la toma de decisiones, donde se formula el problema de decisión de un modo lógico y racional, pudiendo ser aplicado a diferentes campos (Jiménez, 1998).

El AHP persigue la organización de los elementos de forma jerárquica y considera los siguientes aspectos (Torres, 2004):

Modelar el problema como una estructura jerárquica. Esta estructura contiene el objetivo de la decisión (meta), los criterios que llevan al objetivo y las alternativas a evaluar (Figura 1).

Cuantificar las preferencias de los componentes a través de la construcción de matrices de comparación por pares, para derivar los pesos de los criterios.

Seleccionar la alternativa con el mayor peso total, de acuerdo a los cálculos del punto anterior.

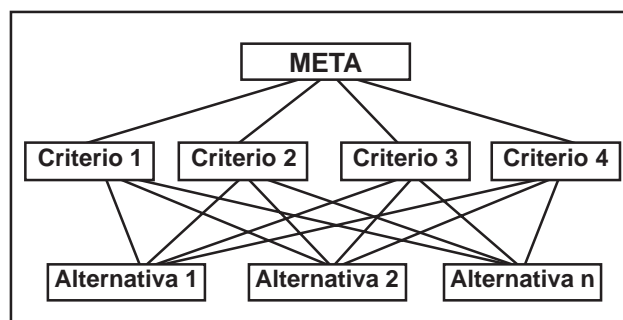


Figura 1. Ejemplo de estructura jerárquica (AHP)
Fuente: [Jiménez, 1998].

En las matrices mencionadas en el punto 2, las alternativas son comparadas por parejas de acuerdo a su importancia relativa bajo el criterio en consideración. Las preferencias entre cada dos elementos se expresan cualitativamente, por

un grupo de expertos, utilizando los juicios: igualmente preferido (o importante), moderadamente preferido, fuertemente preferido, muy fuertemente preferido o extremadamente preferido.

Estas preferencias descriptivas son trasladadas a números absolutos: «1», «3», «5», «7» y «9» respectivamente, dejando los números pares como valores intermedios para resolver el compromiso entre dos juicios cualitativos con dificultad para enjuiciarlos. La escala verbal utilizada en el AHP, permite a las personas incorporar subjetividad, experiencia y conocimiento en un camino intuitivo y natural [Jiménez, 1998].

APLICACIÓN DEL AHP AL PROCESO DE SELECCIÓN DE SOFTWARE ERP

Siguiendo los pasos del AHP, se construyó la estructura jerárquica del modelo propuesto, como se muestra en la Figura 2, mediante la cual, a través de comparaciones sucesivas por pares, se encuentran los pesos que generan el puntaje total de cada software.

La estructura es un poco diferente a la que muestra la Figura 1, ya que existen dos filas de criterios de evaluación: Factores FA_k y Grupos Jerarquizados GR_q . Sin embargo, el planteamiento y el análisis son esencialmente los mismos. Para la selección de un software ERP se propone realizar el análisis de jerarquías en tres niveles, primero mediante comparación de los softwares ($S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$) por parejas respecto a cada uno de los factores ($FA_1, \dots, FA_k, \dots, FA_{TF}$). Seguidamente, los factores ($FA_1, \dots, FA_k, \dots, FA_{TF}$) se comparan por pares de acuerdo a la importancia relativa que un grupo de expertos les asigne, estimando las distancias existentes entre uno y otro en este ordenamiento. Finalmente, los factores se asignan a grupos ($GR_1, \dots, GR_q, \dots, GR_m$) conforme a su tipología y caracterización, para realizar una comparación por pares de grupos, de acuerdo a los objetivos e industria específicos, por parte de la empresa que está evaluando los softwares.

Nivel de comparación 1

Siguiendo la estructura jerárquica de la Figura 2 se realiza una primera comparación entre los softwares. Su finalidad es encontrar el peso o importancia relativa de cada software (S_j) a través de la comparación de los mismos por pares. La empresa expresa su preferencia por cada software en relación

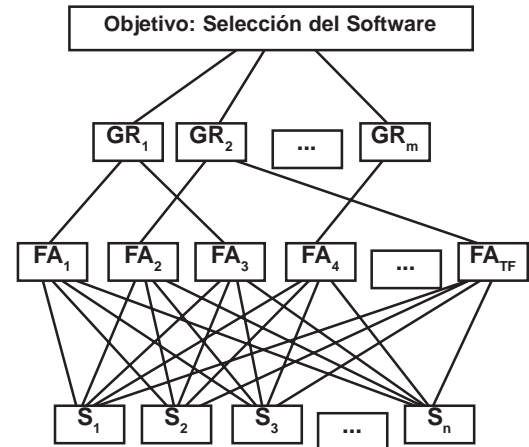


Figura 2. Estructura jerárquica para la selección de software ERP. Fuente: Propia.

a cada factor de selección (FA_k) utilizando los valores del AHP.

De esta manera, un grupo de expertos calificados de la empresa emite su preferencia sobre la importancia relativa de cada software respecto a cada uno de los otros softwares, en lo que concierne a cada factor de selección. Las preferencias son plasmadas en matrices de comparación por cada factor de selección «k». Con base en los factores propuestos por Castro *et al.* (2004) (Tabla 1) se elaboran 40 matrices de comparación.

A continuación se explica cómo se deben construir las matrices y cómo se debe calcular el peso de cada software (S).

Sumatoria de cada columna

S_j : Software j.

i, j : Subíndices softwares.

n : Número total de softwares a evaluar.

FA_k : Factor de selección k.

k : Subíndice factor de selección.

TF : Número total de factores de selección.

s_{ijk} : Nivel de preferencia del software S_i respecto al software S_j en relación al factor FA_k , siendo

$$s_{ijk} = 1 / s_{jik} \text{ y}$$

$$s_{ijk} = \{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}.$$

S_{jk} : Sumatoria de los niveles de preferencia de todos los softwares S_i respecto al software S_j en relación al factor

$$S_{jk} = \sum_{i=1}^n s_{ijk}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n,$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, TF.$$

Tabla 2. Primera matriz de comparación de los softwares
Fuente: Propia

FA_k	S_1	S_2	S_j	...	S_n
S_1	1	S_{12k}	S_{1jk}	...	S_{1nk}
S_2	S_{21k}	1	S_{2jk}	...	S_{2nk}
S_i	S_{i1k}	S_{i2k}	S_{ijk}	...	S_{ink}
...
S_n	S_{n1k}	S_{n2k}	$S_{nj k}$...	1
Suma en i \sum_i	S_{1k}	S_{2k}	S_{jk}	...	S_{nk}

Tabla 3. Primera matriz de comparación de los softwares, factor de selección 1. Fuente: Propia

FA_1	S_1	S_2
S_1	s_{111}	
S_2		
	S_{11}	

2. Relación de las preferencias respecto al total

Con este cálculo se persigue normalizar las preferencias por columnas j.

PS_{ijk} : Relación entre el nivel de preferencia del software S_i respecto al software S_j y la suma de todas las preferencias de todos los softwares respecto al software S_j para el factor FA_k .

$$ps_{ijk} = \frac{s_{ijk}}{S_{jk}}, \forall i, j = 1 \dots n,$$

tal que
$$\sum_{i=1}^n ps_{ijk} = 1 .$$

Tabla 4. Segunda matriz de comparación de los softwares
Fuente: Propia

FA_k	S_1	S_2	S_j	...	S_n
S_1	ps_{11k}	ps_{12k}	ps_{1jk}	...	ps_{1nk}
S_2	ps_{21k}	ps_{22k}	ps_{2jk}	...	ps_{2nk}
S_i	ps_{i1k}	ps_{i2k}	ps_{ijk}	...	ps_{ink}
...
S_n	ps_{n1k}	ps_{n2k}	$ps_{nj k}$...	ps_{nnk}

Tabla 5. Segunda matriz de comparación de los softwares, factor de selección 1. Fuente: Propia

FA_1	S_1	S_2
S_1	ps_{111}	
S_2		

3. Cálculo final

Se estima de la importancia relativa de los softwares para cada factor FA_k , como el promedio de las preferencias normalizadas.

PS_{ik} : Peso del software S_i respecto al factor FA_k .

$$PS_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n ps_{ijk}}{n}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, TF ,$$

tal que
$$\sum_{i=1}^n PS_{ik} = 1 .$$

Tabla 6. Tercera matriz de comparación de los softwares
Fuente: Propia

FA_k	S_1	S_2	S_j	...	S_n	Peso
S_1	ps_{11k}	ps_{12k}	ps_{1jk}	...	ps_{1nk}	PS_{1k}
S_2	ps_{21k}	ps_{22k}	ps_{2jk}	...	ps_{2nk}	PS_{2k}
S_i	ps_{i1k}	ps_{i2k}	ps_{ijk}	...	ps_{ink}	PS_{ik}
...
S_n	ps_{n1k}	ps_{n2k}	$ps_{nj k}$...	ps_{nnk}	PS_{nk}

Tabla 7. Tercera matriz de comparación de los softwares, factor de selección 1. Fuente: Propia

FA_1	S_1	S_2	
S_1			PS_{11}
S_2			

Los PS_{ik} obtenidos, reflejan el peso o importancia relativa de cada software S_i respecto a cada uno de los factores FA_k . Hasta este punto, sólo se ha tomado en cuenta la percepción de la empresa respecto a cada uno de los softwares entre los que piensa elegir, en razón a cada uno de los factores de selección. Sin embargo, no se ha tomado en cuenta la jerarquización e importancia relativa de dichos factores entre sí, es decir, la experiencia de las empresas que han trabajado anteriormente con los softwares ERP. Para incluir esto último, se obtiene el segundo conjunto de relaciones matriciales, es decir, el nivel de comparación 2 de la Figura 2.

La finalidad del nivel de comparación 2 es encontrar el peso de cada factor, y para lograrlo, se comparan unos factores contra otros teniendo en cuenta la jerarquización de la Tabla 1.

Sin embargo, cuando se realiza la comparación existe un problema: si un factor es más importante que el otro ¿Cuánto es más importante? ¿Moderadamente? ¿Fuertemente? ¿Cómo se utilizaría la escala numérica del AHP en este caso? A continuación se resuelven estas preguntas.

Grupos de Factores

Para atender estas interrogantes, se crearon grupos de factores que se enfocaran en un mismo tema. Así, por ejemplo, si se suponen dos grupos: el grupo GR_1 , relacionado con el tema Financiación, y compuesto por los factores (FA_a , FA_b , FA_c , FA_d y FA_e) y el grupo GR_2 , relacionado con el tema Empleados a contratar, y compuesto por los factores (FA_f , FA_g , FA_h , FA_i , FA_j); aunque la organización que quiere adquirir el software ERP, no tenga elementos de juicio que le permitan decidir el orden de importancia del total de factores (ya que no tiene experiencia en el manejo de software ERP), sí puede determinar, que el grupo GR_1 =Financiación tiene más importancia que el grupo GR_2 =Empleados a contratar para la organización en lo que a adquisición de software se refiere.

La organización puede así, jerarquizar estos grupos de acuerdo a sus propios requerimientos y tener en cuenta, no sólo los resultados obtenidos de la experticia de las empresas encuestadas, sino también su propio juicio y experiencia.

Para ello, los factores se agruparon en siete grupos: Sistema, Proveedor, Cliente, Enfoque Web, Inversión, Compatible con la empresa, y Entrenamiento, los cuales se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Descripción de los grupos de factores.

Fuente: Propia

GRUPO	DESCRIPCIÓN
Sistema	Factores relacionados con propiedades que ofrece el software.
Enfoque Web	Factores relacionados con servicios vía internet.
Cliente	Factores que se refieren a clientes internos y externos.
Inversión	Factores concernientes a los cálculos financieros del proyecto.
Proveedor	Factores relacionados con la valoración del proveedor y su producto en el mercado.
Entrenamiento	Los factores que se refieren al adiestramiento de los empleados en el manejo del software.
Compatible con la empresa	Factores relacionados con las necesidades y objetivos del negocio.

A cada grupo, se le asignó los siguientes factores:

Sistema: Seguridad, mayor confiabilidad, soporte del proveedor, adaptabilidad y flexibilidad del software, estabilidad del software, conversión monetaria, software ergonómico, software modular con componentes, escalabilidad, plataforma independiente.

Compatible con la empresa: Capacidad del software acorde con el crecimiento potencial de la empresa, capacidad del software acorde con los objetivos de la empresa, módulos necesarios para operaciones diarias de la empresa, más transparencia y mejor flujo de información, adaptabilidad del hardware y software de la empresa, modificación del usuario sin disponibilidad de la fuente, duración de ciclos más cortos, disponibilidad de soluciones para áreas del negocio, recursos tecnológicos requeridos para la implantación, disponibilidad de la fuente para modificaciones del usuario, guía de una compañía modelo, el software está basado en una industria vertical, tiempo de implementación.

Enfoque web: Mejora del servicio de internet, soporte de e-commerce.

Cliente: Mayor satisfacción al cliente, amistosa al usuario, comunicación con clientes y proveedores.

Inversión: Retorno sobre la Inversión ROI, costo del software, costo de adquisición/costo de implementación, costo de mantenimiento.

Entrenamiento: Entrenamiento requerido para los empleados, recursos humanos requeridos para la implantación.

Proveedor: Software probado con éxito, internacionalidad del software, tamaño del proveedor, estabilidad financiera, número de clientes satisfechos con el proveedor, posición en el mercado.

Nivel de Comparación 2

Este paso busca encontrar los pesos e importancia relativa de los factores que conforman cada uno de los grupos de la Tabla 8. Aunque los factores se habrían podido comparar todos contra todos en una sola matriz, si se sigue la lógica de la estructura jerárquica de la Figura 2, los factores se deben contraponer teniendo en cuenta la caracterización de cada uno conforme a los grupos a los cuales pertenecen. Así, se deben enfrentar por pares los factores que conforman el mismo grupo «Clientes», en otra matriz enfrentar los factores que conforman el grupo «Entrenamiento», y así sucesivamente, para cada grupo.

Los factores, que conforman cada grupo, se comparan teniendo en cuenta su posición relativa en la lista de la Tabla 1. Para realizar las matrices de comparación, se sabe qué alternativa es preferida a otra, gracias a dicha jerarquización de factores.

Como se tiene un ordenamiento, se sabe que el primer factor es preferido a todos los demás; que el segundo es preferido a los demás menos al primero, etc. Sin embargo, no se puede decir qué tanto es más preferido, es decir: es fuertemente más preferido? ¿Moderadamente? ¿Extremadamente? Se necesita un criterio que nos permita decidir si se le debe dar un valor de 3, 5, 7 o 9, de acuerdo a la brecha que existe entre uno y otro en la lista.

Pensando en lo anterior se realizó un «clustering jerárquico». Esta técnica estadística permite agrupar los elementos de un conjunto que tienen ciertas características similares con el fin de crear varios subconjuntos. Con este proceso se pretendió calificar cada factor de acuerdo a la brecha entre los conjuntos a los cuales pertenecen.

Como primer paso se encontró el dendograma para las ponderaciones de los factores de la Tabla 1 utilizando el programa estadístico R¹ (figura 3). El análisis por cluster o análisis por grupos, identifica casos de clusters o conjuntos homogéneos en una población. Es decir, busca definir conjuntos que minimicen la varianza entre los elementos que constituyen cada conjunto, y maximice la varianza entre conjuntos [Garson, 2001]. El Dendograma es un diagrama

en árbol que se utiliza para mostrar los resultados del análisis por cluster o conjunto. Los casos afines son adyacentes, y las líneas indican el grado de semejanza o diferencia entre los casos (Garson, 2001).

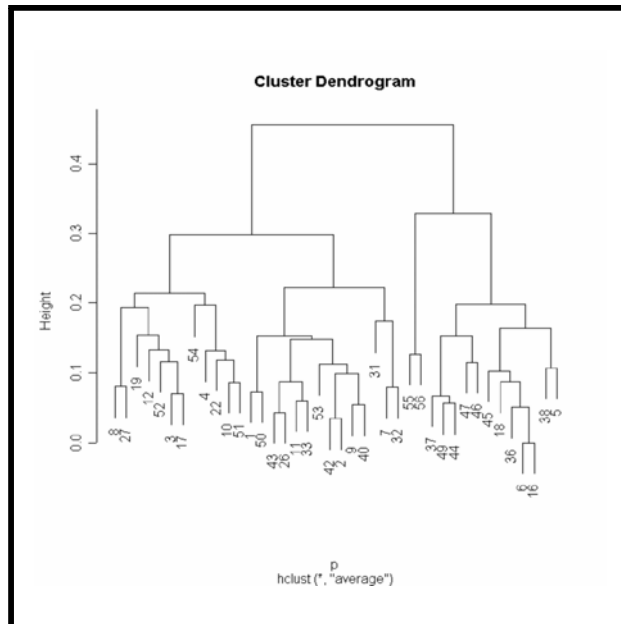


Figura 3. Cluster jerárquico para los factores de selección. Fuente: Cálculos propios

Como se ve en la figura 3, el dendograma comienza tomando los elementos como un cluster en sí mismo. Después, «relaja» un poco el criterio de similitud y muestra a dos o más elementos en un mismo cluster. Este proceso continúa hasta llegar a un solo cluster.

Como el AHP maneja básicamente cuatro tipos de calificación (moderadamente preferido=3, fuertemente preferido=5, muy fuertemente preferido=7 o extremadamente preferido=9), se le pidió al programa R que escogiera cuatro grandes clusters.

Los clusters resultantes se presentan a continuación:

Cluster 1:

- 55 Seguridad de los datos, bases de datos, procesos.
- 56 Mayor confiabilidad.

Cluster 2:

- 47 Capacidad del sistema acorde con el crecimiento potencial de la empresa.
- 44 Soporte del proveedor, capacidad de entrenamiento, respuesta a problemas.

¹ R es un lenguaje para el cómputo estadístico, desarrollado por Rick Becker, John Chambers y Allan Wilks en los laboratorios AT&T Bell (actualmente Lucent Technologies). <http://www.r-project.org/>

- 46 Capacidad del sistema acorde con los objetivos de la empresa.
- 49 El sistema contiene los módulos necesarios para llevar las operaciones diarias de la empresa.
- 37 Software probado con éxito.
- 36 Más transparencia y mejor flujo de información.
- 6 Mayor satisfacción.
- 16 Amistosa a los usuarios fáciles de usar.
- 38 Adaptabilidad y flexibilidad de software.
- 45 Adaptabilidad del hardware y software existentes en la empresa.
- 18 Entrenamiento requerido para los empleados.
- 5 Beneficios vs. Inversión (ROI).

Cluster 3:

- 54 Modificaciones del usuario sin disponibilidad de la fuente.
- 22 Duración de ciclos más cortos.
- 10 Tamaño del proveedor.
- 51 El software es escalable.
- 27 Guía de una compañía modelo.
- 19 Recursos humanos requeridos para la implantación.
- 3 Relación Costo de adquisición/Costo de implementación.
- 4 Costo de mantenimiento del software.
- 12 Número de clientes satisfechos por el proveedor.
- 52 El software está basado en una industria vertical.
- 8 Posición en el mercado del proveedor.
- 17 Tiempo para la implantación.

Cluster 4:

- 33 Comunicación con clientes y proveedores de la empresa.
- 1 Conversión monetaria.
- 7 Internacionalidad del software.
- 42 Software ergonómico.
- 50 El sistema es modular con componentes.
- 2 Costo del software.
- 32 Mejora en los servicios de internet.
- 31 Mejora de soporte para e-commerce.
- 26 Disponibilidad de soluciones para áreas del negocio .
- 43 Recursos tecnológicos requeridos para la implantación.
- 53 Disponibilidad de la fuente para las modificaciones del usuario.
- 9 Estabilidad financiera del proveedor.
- 40 Independencia del sistema operativo (plataforma independiente).
- 11 Estabilidad del producto del proveedor.

Criterio para la construcción de las matrices de comparación de los factores pertenecientes a los siete grupos

Una vez construidos los cuatro clusters, se comparan los factores pertenecientes a cada uno de los grupos: Sistema,

Enfoque web, Clientes, Compatible con la empresa, Proveedor, Inversión y Entrenamiento, mediante el siguiente criterio:

Si al comparar dos factores, ambos de encuentran en el mismo cluster, el que está mejor valorado será **moderadamente** más preferido y tendrá una calificación de **3**.

Si al comparar dos factores, estos se encuentran en diferentes clusters, y estos clusters son consecutivos, es decir los clusters: 1-2, 2-3, y 3-4. El factor que esté mejor valorado será **fuertemente** más preferido y tendrá una calificación de **5**.

Si al comparar dos factores, estos se encuentran en diferentes clusters, y están separados por uno de los clusters, es decir: 1-3, y 2-4. El factor que esté mejor valorado será **muy fuertemente** más preferido y tendrá una calificación de **7**.

Si al comparar dos factores, estos se encuentran en diferentes clusters, y están separados por dos de los clusters, es decir el par: 1-4. El factor que esté mejor valorado será **extremadamente** más preferido y tendrá una calificación de **9**.

Las matrices de comparación de los factores pertenecientes a cada grupo y los cálculos del peso de los factores, se realizan de la misma forma que la Comparación 1. Por lo anterior, sólo se ejemplificará la matriz del primer paso y las matrices generales.

La importancia relativa o peso PS_{ik} de cada software S_i para cada factor FA_k se separa de acuerdo al grupo de factores al cual pertenece el software en cuestión. De esta forma surgen los PS_{ikq} , es decir, el peso del software S_i respecto al factor FA_k que pertenece al grupo GR_q .

1. Sumatoria de cada columna

FA_k : Factor de selección k.

k,p : Subíndices factores de selección.

$k,p = (1,2,3,...,TF_q)$

q : Identificación del grupo GR_q .

m : Número total de grupos (en la propuesta $m = 7$).

TF_q : Número total de factores perteneciente al grupo GR_q .

f_{kpq} : Nivel de preferencia del factor FA_k respecto al factor

FA_p , pertenecientes al grupo GR_q .

F_{pq} : Sumatoria de los niveles de preferencia de todos los factores FA_k respecto al factor FA_p , pertenecientes al grupo GR_q .

Tabla 9. Primera matriz de comparación de los factores Fuente: Propia

GR_q	FA_1	FA_2	FA_p	...	FA_{TFq}
FA_1	1	f_{12q}	f_{1pq}	...	f_{1TFq}
FA_2	f_{21q}	1	f_{kpq}	...	f_{2TFq}
FA_k	f_{k1q}	f_{k2q}	f_{kpq}	...	f_{kTFq}
...
FA_{TFq}	f_{TFq1q}	f_{TFq2q}	f_{TFqpq}	...	1
Suma en k \sum_k	F_{1q}	F_{2q}	F_{pq}	...	F_{TFq}

$$F_{pq} = \sum_{k=1}^{TFq} f_{kpq} \quad \forall p = 1, 2, \dots, TF$$

$$\forall q = 1, 2, \dots, m$$

Tabla 10. Primera matriz de comparación de los factores, grupo 1. Fuente: Propia

GR_1	FA_1	FA_2
FA_1	f_{111}	
FA_2		
	F_{11}	

2. Relación de las preferencias respecto al total

Con este cálculo se normalizan las preferencias por columna p.

pf_{kpq} : Relación entre el nivel de preferencia del factor FA_k respecto al factor FA_p y la suma de todas las preferencias de todos los factores respecto al factor FA_p pertenecientes al grupo GR_q .

PF_{kq} : Peso del factor FA_k perteneciente al grupo GR_q .

$$pf_{kpq} = \frac{f_{kpq}}{F_{pq}}, \quad \forall k, p = 1, 2, \dots, TF_q,$$

$$\forall q = 1, 2, \dots, m,$$

tal que

$$\sum_{k=1}^{TFq} pf_{kpq} = 1.$$

Tabla 11. Segunda matriz de comparación de los factores, grupo 1. Fuente: Propia

GR_1	FA_1	FA_2
FA_1	pf_{111}	
FA_2		

3. Cálculo final

Se estima la importancia relativa del factor FA_k perteneciente al grupo GR_q .

PF_{kq} : Peso del factor perteneciente al grupo GR_q .

$$PF_{kq} = \frac{\sum_{p=1}^{TFq} pf_{kpq}}{TF_q}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, TF_q$$

$$, \quad \forall q = 1, 2, \dots, m,$$

tal que

$$\sum_{k=1}^{TFq} PF_{kq} = 1$$

Tabla 12. Tercera matriz de comparación de los factores, grupo 1. Fuente: Propia

GR_1	FA_1	FA_2	
FA_1			PF_{11}
FA_2			

Nivel de Comparación 3

Es la comparación por pares de los siete grupos de factores respecto a la estructura y objetivos de la empresa (OB). Su finalidad es encontrar el peso o importancia relativa de cada grupo de factores.

Al igual que el nivel de comparación 2 sólo se mostrará la matriz del paso 1, ya que los cálculos de los pesos se obtienen realizando las mismas operaciones ya descritas.

1. Sumatoria de cada columna

q, r : subíndices grupos de factores.

g_{qr} : Nivel de preferencia del grupo GR_q respecto al grupo GR_r en relación al objetivo de la organización en la selección del software ERP.

G_r : Sumatoria de los niveles de preferencia de todos los grupos GR_q respecto al grupo GR_r en relación al objetivo (OB).

$$G_r = \sum_{q=1}^m g_{qr} \quad , \quad r = 1, 2, 3, \dots, m \quad .$$

Es importante resaltar que los valores g_{qr} serán proporcionados por la organización que debe decidir sobre la selección del software ERP. Mediante esta variable se incorpora al modelo la opinión de la organización o grupo de expertos de la misma, en relación a la importancia relativa de cada grupo de factores frente a los objetivos de la organización.

Tabla 13. Primera matriz de comparación de los grupos.
Fuente: Propia

OB	GR_1	GR_2	GR_r	...	GR_m
GR_1	1	g_{12}	g_{1r}	...	g_{1m}
GR_2	g_{21}	1	g_{2r}	...	g_{2m}
GR_q	g_{q1}	g_{q2}	g_{qr}	...	g_{qm}
...
GR_m	g_{m1}	g_{m2}	g_{mr}	...	1
Suma en q Σ_q	G_1	G_2	G_r	...	G_m

2. Relación de las preferencias respecto al total

Con este cálculo, se normalizan las preferencias por columna r.

pg_{qr} : Relación entre el nivel de preferencia del grupo GR_q respecto al grupo GR_r y la suma de todas las preferencias de todos los grupos GR_q respecto al grupo GR_r para el objetivo de la organización (OB).

$$pg_{qr} = \frac{g_{qr}}{G_r}, \quad \forall \quad q, r = 1, 2, 3, \dots, m \quad ,$$

tal que $\sum_{q=1}^m pg_{qr} = 1 \quad .$

Tabla 14. Segunda matriz de comparación de los grupos
Fuente: Propia

OB	GR_1	GR_2
GR_1	pg_{11}	
GR_2		

3. Cálculo final

Se estima la importancia relativa de cada grupo GR_q .

PG_q : Peso del grupo GR_q respecto al objetivo de la organización (OB).

$$PG_q = \frac{\sum_{r=1}^m pg_{qr}}{m}, \quad \forall \quad q = 1, 2, \dots, m \quad ,$$

tal que $\sum_{q=1}^m PG_q = 1 \quad .$

Tabla 15. Tercera matriz de comparación de los Grupos.
Fuente: Propia

OB	GR_1	GR_2	
GR_1			PG_1
GR_2			

Peso Total de cada Software

Una vez se han construido todas las matrices se multiplican los pesos o preferencias de la siguiente forma para encontrar el peso total de cada software.

$$PTS_i = \sum_{q=1}^{TG} \sum_{k=1}^{TF_q} PS_{ikq} PF_{kq} PG_q ,$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, n .$$

El software con el mayor puntaje es el que la organización debería considerar como mejor propuesta de software ERP, es decir:

$$S^* = \max\{PTS_1, PTS_2, \dots, PTS_n\}$$

CONCLUSIONES

Las organizaciones ven cada día con mayor interés a los ERP como una solución integral a sus requerimientos de tecnología de información para planificar, ejecutar y coordinar sus actividades. La necesidad de competir en mercados cada vez más reñidos y globales obliga a la ejecución de procesos de negocio eficaces y a procesos de toma de decisiones muy bien soportados por información completa, correcta y oportuna. Los ERP prometen el potencial para explotar ambos elementos.

Sin embargo, la historia de experiencias de implantación fallidas es abundante. Bajo las premisas que los procesos de selección inadecuados son una de las razones de buena parte de los fracasos y que cada negocio es único, y el costo y valor de la solución que se escoja dependerá de variables relacionadas con el tamaño, cimientos y cultura de la compañía, lleva a pensar que cada organización necesita establecer sus propias metas, evaluar opciones y, sólo entonces, buscar las tecnologías específicas y los vendedores. Además, la adquisición de este tipo de tecnología tiene un costo financiero importante para las compañías.

Ante la diversidad de softwares disponibles para las empresas y lo expuesto anteriormente, surge la conveniencia de contar con herramientas y técnicas para la evaluación y selección de la tecnología más adecuada, y es por ellos que se propone un modelo para tal fin, en el contexto de las industrias manufactureras venezolanas.

El modelo propuesto permite tomar la decisión del software ERP que más conviene a la empresa, teniendo en cuenta la experticia de otras industrias y organizaciones, a través de la ponderación de los factores y también mediante la opinión

de su propio grupo de expertos. Aunque la jerarquización y ponderación de los cuarenta factores constituye una fuente de información importante para seleccionar un software ERP, se ofrece a las empresas la posibilidad de realizar su propia jerarquización de acuerdo a sus objetivos y tipo de industria particulares, a través de los grupos de factores propuestos en este modelo.

La herramienta del Proceso de Jerarquía Analítica permite la cuantificación de la importancia relativa de los distintos criterios utilizados para la valoración de los softwares, mediante la comparación cualitativa por pares, de los softwares con respecto a cada factor, de los factores pertenecientes a cada grupo y de los grupos entre sí, para finalmente, estimar un peso relativo entre los softwares.

En conclusión, el modelo planteado sistematiza el proceso de toma de decisión para la adquisición de una aplicación ERP. Además, es un instrumento construido con técnicas metodológicas y estadísticas que ofrecen una solución calculada en términos relativos y no absolutos, lo cual permite a la empresa discernir de una forma introspectiva sobre la decisión más acertada.

RECOMENDACIONES

Se exhorta a la continuación de este estudio, con el fin de depurar cada vez más el modelo de selección de los softwares ERP. A estos fines, se propone: a) Validar el modelo propuesto aplicando el mismo a diferentes empresas, b) Utilizar el clustering jerárquico en el caso de que los pesos totales de cada software sean muy cercanos, c) Automatizar el modelo con el fin de que se convierta en una herramienta eficiente para decidir el software ERP que más le conviene a la empresa, d) Refinar las matrices y pesos, realizando encuestas a más empresas que hayan aplicado un software ERP con anterioridad, y e) Finalmente, si los pesos totales de cada software llegaron a ser muy cercanos, se recomienda utilizar la herramienta del clustering jerárquico buscando separarlos por grupos, y así reconocer una diferencia significativa entre los mismos.

REFERENCIAS

- AYERS, J., (2001), Is supply chain management the same as ERP?. *Information Strategy: The Executive's Journal*. Auerbach Publications. CRC Press LLC, 17 (3).
- BAKI, B. & K. CAKAR, (2005), Determining the ERP package-selecting criteria: the case of turkish manufacturing

- companies. *Business Process Management Journal*, 11 (1): 75-86.
- BERNROIDER, E. & S. KOCH, (2000). Differences in characteristics of the ERP system selection process between small or medium and large organizations. *Proceedings of the Sixth Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2000)*, Long Beach, CA: 1022-1028.
- BOTELLA, P., X. BURGUÉS, J. CARVALLO, X. FRANCH, J. PASTOR, & C. QUER, (2003). Towards a quality model for the selection of ERP systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 2693 (2693/2003): 225-245.
- BUONANNO, G., P. FAVERIO, F. PIGNI, A. RAVARINI, D. SCIUTO & M. TAGLIAVINI, (2005). Factors affecting ERP system adoption: a comparative analysis between SMEs and large companies. *Journal of Enterprise Information Management*, 18 (4): 384-426.
- CASTRO, N., A. BORGES, N. BAQUERO, S. RODRÍGUEZ, & E. SUZÍN, (2004). Factors for the selection of ERP software in large manufacturing companies: the venezuelan case. *The 8th world multi-conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, (SCI July 2004), IV.
- GARSON, D., (2001). Statnotes: Topics in Multivariate Analysis. *PA 765 Statnotes: An online textbook*. (North Carolina State University) [En línea] disponible en: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/cluster.htm>
- JIMÉNEZ, L. & C. DE LA TORRE, (1998). Valoración de riesgos de un proyecto utilizando el proceso jerárquico de análisis. Área de Matemáticas, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales (Toledo) Universidad de Castilla, La Mancha, España, *Asociación española de profesores universitarios de matemáticas para la economía y la empresa*, ASEPUMA, [En línea] Disponible en: <http://www.uv.es/asepuma/>
- PIPPO, P., M. TORKKELI & M. TUOMINEN, (1999). Use of GDSS for technology selection: new integrated CAD-system for an entire company. *The Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, (PICMET'99), Technology and Innovation Management, Portland, Oregon, USA, July.
- RAZI, M. & J. TARN, (2002). ERP pre-acquisition analysis for small companies. *Decision Sciences Institute*, Annual Meeting Proceedings.
- SAATY, T., (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.
- SARKIS, J. & R. SUNDARRAJ, (2000). Factors for strategic evaluation of enterprise information technologies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30 (3/4): 196-200.
- SARKIS, J. & R. SUNDARRAJ, (2001). A decision model for strategic evaluation of enterprise information technologies. *Information Systems Management*, 18(3): 62-72.
- SARKIS J., & R. SUNDARRAJ, (2003). Evaluating componentized enterprise information technologies: a multiattribute modeling approach. *Information Systems Frontiers*, 5 (3): 303-319.
- SARKIS, J. & S. TALLURI, (2004). Evaluating and selecting e-commerce software and communication systems for a supply chain. *European Journal of Operations Research*. 159 (2): 318-329.
- TORKKELI M. & M. TUOMINEN, (2001). Use of GDSS in technology selection: experiences and findings. *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- TORRES, O. & P. BALLESTEROS, (2004). Una aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) en transferencia de tecnología. Conferencia No. 26, *III Congreso Colombiano y I Conferencia Andina Internacional de Investigación de Operaciones*, (CCIO, Cartagena, Colombia).
- VERVILLE, J. & A. HALINGTEN, (2002). A qualitative study of the influencing factors on the decision process for acquiring ERP software. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 5 (3): 188-198.
- VERVILLE, J. & A. HALINGTEN, (2002). An investigation of the decision process for selecting an ERP software: the case of ESC. *Management Decision*, 40 (3): 206-216.
- VERVILLE, J. & A. HALINGTEN, (2003). Analysis of the decision process for selecting ERP software: the case of Keller manufacturing. *Integrated Manufacturing Systems*, 14 (5): 423-432.