

Evaluación y justificación de inversiones en robots: una metodología multicriterio

Jorge L. García Alcaraz¹
Dr. Salvador A. Noriega Morales²
Juan José Díaz Núñez³
Jaime Sánchez Leal

Aportes, Revista de la Facultad de Economía, BUAP, Año X, Número 30, Septiembre -Diciembre de 2005

Introducción

La calidad y el precio de un producto tienen la mayor influencia en la decisión de compra de una persona y para que una empresa logre incrementar la satisfacción del cliente, mantener precios bajos en productos variados y mantener la cuota de mercado, éstas generalmente deben responder con inversiones en TMA (Tecnologías para la Manufactura Avanzada), logrando de esta manera mantenerse en los mercados dinámicos de estos periodos de globalización, según Churchill y Suprenant [1982].

Suresh y Meredith [1985] declaran que

una vez que las empresas deciden invertir en TMA, éstas enfrentan el problema de justificación de la inversión, ya que las metodologías económicas de flujo descontado (DCF) no integran variables cualitativas y sus modelos no reflejan la totalidad del problema. Para resolver la problemática anterior se sugiere que los procesos de adopción de TMA deben ser analíticos e integrar variables cualitativas —estratégicas— y cuantitativas —operativas—, ya que la integración de estos dos tipos de variables garantiza el éxito del proceso de implantación de la tecnología, según decla-

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez. Av. Tecnológico 1340, Fracc. El Crucero, Cd. Juárez, Chihuahua, México. CP 32500 Tel: (+52) 656 688 2500 Ext 2534 Fax: (+52) 656 688 2501; jorgeandres_garcia@yahoo.com.mx jlga71@hotmail.com

² Profesor-Investigador del Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Cd. Juárez. Henry Dunant 4016, Zona Pronaf, Cd. Juárez, Chihu-

ahua, México. C.P. 32310. Tel: (+52) 656 688-2100 al 09; snoriega@uacj.mx

³ División de Estudios de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez Av. Tecnológico 1340, Fracc. El Crucero, Cd. Juárez, Chihuahua, México. CP 32500 Tel: (+52) 656 688 2500 Ext 2534 Fax: (+52) 656 688 2501.

jjdiaz@yagerdiaz.org y respectivamente jsanchez@itcj.edu.mx

ran Small y Chen [1997]. Por su parte, Yusuff y Hashmib [2001] consideran que si no se integran estas variables, se presentan problemas en la implantación y existe el riesgo de un fracaso de la inversión y declaran que aproximadamente el 40% de los proyectos de inversión en TMA en Estados Unidos de América son consideradas un fracaso o se abandonan por no poderlos integrar

Canadá y Sullivan [1990] exponen que la problemática de las inversiones de TMA se puede resumir en cuatro puntos, los que se exponen a continuación:

- Inversiones iniciales muy elevadas
- Tasas de rendimiento o recuperación muy elevadas (alto riesgo)
- Tendencias a manipular las tasas de rendimiento mínimas atractivas
- Compararse con el status quo, “no hacer nada”

Parkan y Wu [1999] aseguran que las inversiones en TMA no solo tienen beneficios operativos y económicos, sino que también proporcionan muchas ventajas competitivas y estratégicas, las cuales deben integrarse en la evaluación y que las técnicas económicas tradicionales no integran en los modelos. Aunque no existe un acuerdo generalizado sobre la estructura del problema de selección de TMA, se acepta desde un punto de vista metodológico que la selección de TMA pertenece a la clase de problemas llamados toma de decisiones multiatributos (MADM), ya que son varias las variables que deben ser evaluadas, según Luong [1998]. Se han generado varias técnicas capaces de manejar múltiples atributos en las evaluaciones de selección, las cuales son ampliamente difundidas en la literatura; por ejemplo, Khouja [1995] apli-

có Data Analysis Envelopment (DEA) a evaluación de robots, Al Khalil [2002] empleó AHP (Analytic Hierarchy Process) a la selección de tecnologías automáticas y Al-Harbi [2001] también ha empleado la misma herramienta en la selección de proyectos de inversión.

El objetivo de este artículo es presentar una metodología multicriterio para la evaluación de tecnología basada en la técnica denominada TOPSIS, la cual es sencilla de aplicar y permite la integración de factores cualitativos y cuantitativos. La metodología se aplica en la evaluación de 6 robots con características diferentes y se contó con la ayuda de un grupo de decisión integrado por directivos de la empresa en que se aplicó.

El artículo está organizado en 4 secciones, en la primera parte se presenta un resumen del trabajo, en sección dos se presenta la introducción, en la tercera se expone la metodología propuesta y finalmente en la cuarta sección se exponen los resultados.

Metodología

En esta sección se presenta la metodología seguida para la selección del robot, misma que se dividió en dos fases; la primera se denomina *fase de información*, en la que se colectó la información necesaria para el análisis y en la segunda se denominó *fase de evaluación*, en la que se realizan las operaciones para determinar la alternativa que satisface los criterios evaluados. Un diagrama de las actividades realizadas en cada fase se indica en la Figura 1 y se exponen en los siguientes párrafos.

Fase de Información

En esta se colecta la información requerida para realizar el análisis y tomar la decisión,

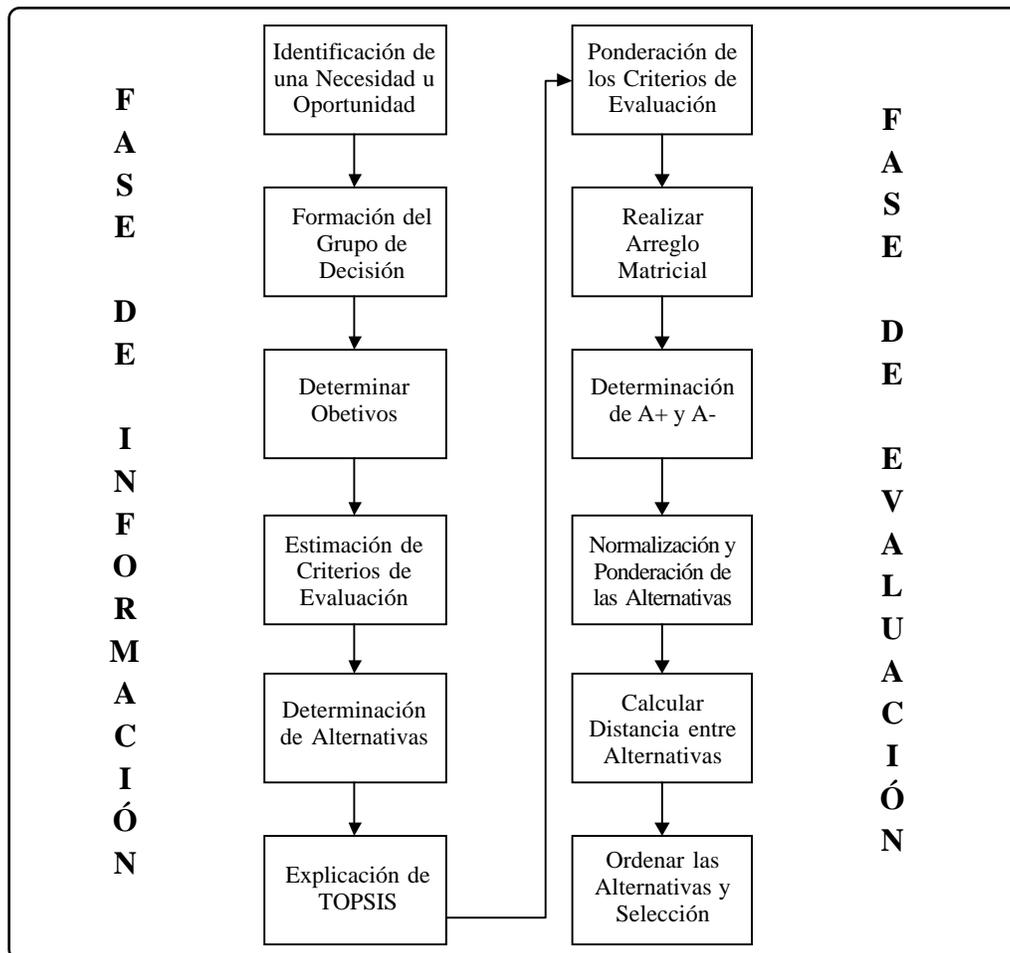
estuvo dividida en seis actividades principales, mismas que se exponen a continuación.

Identificación de una Necesidad u Oportunidad

Esta actividad es producto de la observa-

ción de problemas en los sistemas de producción que se tienen instalados en la empresa, los índices tecnológicos y las comparaciones con los competidores. Cuando los directivos consideran que se encuentran en desventaja competitiva, es frecuente que en reuniones de consejo se incorporen espacios

FIGURA 1
METODOLOGÍA PROPUESTA



en que se discutan las soluciones a este tipo de problemas; generalmente estas soluciones son inversiones en algún tipo de TMA.

El Ingeniero de Producción (IP) fue el responsable de identificar las necesidades que tenía su sistema de producción y comunicarlo a los directivos, el problema consistía en mover pequeños lingotes de hierro caliente, los cuales salían del proceso de corte por medio de una banda y colocarlo en carros transportadores. Esta actividad se realizaba con otra tecnología, pero en meses recientes se han tenido accidentes, mismos que se deseaban eliminar; para ello el consejo ordenó la adquisición de un robot automático.

Formación del Grupo de Decisión

El IP fue el responsable de invitar a miembros de diferentes departamentos de la empresa con la finalidad de integrar un grupo de decisión multicriterio. Los integrantes del grupo provenían de los departamentos de Producción, Gerencia General, Mercadotecnia, Investigación y Desarrollo y Finanzas, siendo un total de cinco elementos, todos con derecho de voz y voto. Se esperaba que el departamento de Producción expusiera claramente las necesidades tecnológicas y operativas que se tenían en la empresa, que la Gerencia General aportará los objetivos estratégicos, Mercadotecnia expusiera el futuro del producto y las posibles modificaciones de éste, Investigación y Desarrollo manifestará los posibles usos alternos que se le podía dar al robot y la creación de nuevos productos y finalmente Finanzas debía manifestar la capacidad económica de la empresa, los periodos de retorno de la inversión, tasa de interés aplicada y aspectos de depreciación.

Determinar los Objetivos

Una vez que estaba formado el grupo de decisión, se procedió a establecer los objetivos de la inversión, en la que los diferentes integrantes manifestaron la respuesta o impactos que esperaban por la implantación de la TMA y la fecha límite para lograrlo. Esto sirvió de base para generar un plan mediante el cual se medirá la eficacia del robot en el sistema de producción ya existente y el éxito o fracaso de la inversión. Así mismo, se colectaron opiniones de otros departamentos en los que se esperaba que la TMA tuviera algún impacto.

Estimación de los Criterios de Evaluación

En esta actividad cada uno de los integrantes del grupo manifestó cuales serían los criterios de evaluación desde su punto de vista. Al final de una lluvia de ideas y conociendo las necesidades que la empresa tenía y los objetivos que se deseaban lograr, se determinó que los criterios descritos en la Tabla 1 se deben evaluar.

Determinación de las alternativas

Una vez que se conocen los criterios de evaluación, el departamento de compras proporcionó información sobre posibles alternativas de solución al problema; después de analizar la cartera de ofertas que se tenían, sus características operativas y los objetivos que se perseguían, se seleccionaron seis de éstos robots para su evaluación final. En lo sucesivo se denotan por A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 y A_6 .

Explicación de la técnica TOPSIS

Existen muchos métodos de evaluación multicriterio, algunos de los cuales han sido revisados ampliamente por Hwang y Yoon

[1981], Chen y Hwang [1992] y Yoon y Hwang [1995]. Una de estas técnicas se denomina TOPSIS y fue desarrollada por Yoon [1980] y Hwang y Yoon [1981] usando el principio intuitivo de que la alternativa seleccionada deberá tener la menor distancia a una alternativa ideal, pero la mayor distancia a una alternativa anti-ideal.

En el proceso de selección por medio de TOPSIS, una alternativa A^k se considera como un vector en el espacio euclidiano n-dimensional (ya que existen n criterios de evaluación), como se indica en la ecuación (1); similarmente, los criterios pueden representados por vectores en el espacio k-dimensional (ya que existen k alternativas) y está dado por la ecuación (2).

$$A^k = (x_1^k, \dots, x_n^k) \text{ para } k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

$$X_n = (x_n^1, \dots, x_n^k) \text{ para } n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

La técnica TOPSIS parte del supuesto de que existe una alternativa que debe ser mejor o peor a todas las demás. Así, la alternativa compuesta con las mejores características nominales en los atributos se llama *alternativa ideal* y está dada por la ecuación (3); igualmente se genera la alternativa anti-ideal, la cual está compuesta por todos los valores nominales no deseados de los criterios dentro de las alternativas y está expresada por la ecuación (4):

$$A^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+) \quad (3)$$

$$A^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-) \quad (4)$$

Srinivasan y Shocker [1973] sugieren que un método directo de realizar la evaluación multicriterio para la elección del robot,

consiste en elegir la alternativa que posea la menor distancia a la alternativa ideal, de esta manera la alternativa elegida sería muy semejante a la solución ideal. Zeleny [1974] propone que otra forma de elegir la alternativa sería eligiendo aquella que se encuentre más alejada de la solución anti-ideal. TOPSIS es una técnica que considera la distancia a la solución ideal y la distancia a la solución anti-ideal. La técnica TOPSIS puede ser resumida de la siguiente manera:

1. Normalizar cada vector X_i de los atributos que son sujetos a evaluación y conviértalos a TX_i según la ecuación (5).

$$TX_n = X_n / \|X_n\| = (x_n^1 / \|X_n\|, \dots, x_n^k / \|X_n\|) \quad (5)$$

donde $\|X_n\|$, representa la norma euclidiana del vector (magnitud del vector); de esta manera, todos los criterios estarán sin dimensión alguna y se podrán realizar comparaciones entre alternativas; $\|X_n\|$ está dada por la ecuación (6).

$$\|X_n\| = \sqrt{\sum_1^n x_i^2} \quad (6)$$

una vez que los vectores de los criterios se han transformado en vectores unitarios al normalizarse, entonces cada una de las valoraciones de las alternativas estarán con coordenadas menores a la unidad, así como los vectores ideal e anti-ideal. Una forma de normalizar los vectores de las alternativas de manera directa es usando las ecuaciones (7), (8) y (9).

$$TA^k = (t^k, \dots, t_n^k) = (x_1^k / \|X_1\|, \dots, x_n^k / \|X_n\|) \quad (7)$$

$$k = 1, \dots, K$$

$$TA^+ = (t^+, \dots, t_n^+) = (x_1^+ / \|X_1\|, \dots, x_n^+ / \|X_n\|) \quad (8)$$

$$TA^- = (t^-, \dots, t_n^-) = (x_1^- / \|X_1\|, \dots, x_n^- / \|X_n\|) \quad (9)$$

2. Calcular según las ecuaciones (10) y (11) las distancias que existen de los puntos representados por los puntos de cada alternativa con los puntos que representa la alternativa ideal y a la alternativa anti-ideal.

$$\rho(A^k, A^+) = \|w^*(TA^k - TA^+)\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n^* (t_n^k - t_n^+)^2} \quad (10)$$

$$\rho(A^k, A^-) = \|w^*(TA^k - TA^-)\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n^* (t_n^k - t_n^-)^2} \quad (11)$$

Donde w representa la ponderación o peso que los elementos del grupo de decisión han proporcionado al criterio de evaluación.

3. Ordenar las alternativas de acuerdo a la cercanía y lejanía de los puntos de las alternativas a los puntos de la solución ideal e anti-ideal, las que están dadas por la ecuación (12). El criterio de selección que se usa en TOPSIS consiste en elegir la alternativa que contenga el valor $RC(A^k, A^+)$ menor que todas las demás.

Tabla 1
Criterios de Evaluación

<i>Costo</i> (X_1). Representa el desembolso inicial que debe realizar la empresa para adquirir el robot, los impuestos pagados, costos de mantenimiento preventivo y reparaciones no planeadas. Este criterio está representado en dólares (\$) y se desea minimizarlo.
<i>Capacidad de Carga</i> (X_2). Representa el tonelaje que el robot puede levantar en condiciones normales y extremas, así como la distancia que puede desplazar la carga. Este criterio es representado en kilogramos (Kg.) y se busca maximizarlo.
<i>Velocidad</i> (X_3). Se refiere a la velocidad con que el robot mueve los lingotes de la banda transportadora a los carros de transporte, este criterio se analiza para saber si las alternativas evaluadas tienen la capacidad de abastecer la velocidad de la banda transportadora. Este criterio se expresa en metros por segundo (m/s) y se busca maximizarlo.
<i>Calidad de Servicio</i> (X_4). Se refiere a las características del servicio que tiene el proveedor del robot; como son el financiamiento, tiempo de entrega, la capacitación en el manejo del mismo y otros. Este criterio es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.
<i>Facilidad de Programación</i> (X_5). Se refiere a la facilidad con que se puede programar el robot al introducir un nuevo producto con otra forma, introducir nuevas coordenadas de posicionamiento, etc. Este criterio es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.
<i>Integración</i> (X_6). Este criterio se refiere a la facilidad con que el robot se integra al sistema de producción ya existente y la facilidad con que puede desempeñar otras tareas en otras líneas. Este criterio es subjetivo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.

$$RC(A^k, A^+) = \frac{\rho(A^k, A^+)}{\rho(A^k, A^+) + \rho(A^k, A^-)} \quad (12)$$

Fase de Evaluación

Esta fase se encuentra dividida en seis actividades principales, en las cuales se analiza la información obtenida en la fase anterior. Las actividades se exponen a continuación.

Ponderación de los Criterios de Evaluación

Dado que no todos los criterios tienen la misma importancia, se solicitó a los integrantes del grupo de decisión que emitieran su juicio en una escala de 1-9 sobre la importancia que tenía para ellos el criterio evaluado. En la Tabla 2 se ilustra el proceso de obtención de la ponderación de estos criterios; los valores asignados por el grupo de decisión se promedian y ponderan, de tal manera que la suma del vector \mathbf{w} es la unidad.

Realizar arreglo matricial

En esta actividad se estimaron los valores que posee cada alternativa con respecto a cada uno de los criterios que se evalúan. En

la evaluación se integran criterios cuantitativos y cualitativos. Los valores cuantitativos fueron obtenidos de las características presentadas por los proveedores de los robots, los cualitativos fueron estimados mediante juicios del grupo de decisión usando una escala del 1-9 para calificar el criterio en cada alternativa, los valores se sumaron y se obtuvo una media aritmética, la cual representa su valor. La Tabla 3 ilustra este proceso de obtención de valores, donde E_i representa la opinión del elemento i del grupo de decisión.

La Tabla 4 ilustra los valores de los seis criterios evaluados en las seis alternativas de solución. Estos valores son los que representan a cada alternativa como un vector en el espacio euclidiano y sobre los que se realizan los cálculos; por ejemplo A_1 es representada por el vector (8500, 90, 1.4, 5.2, 7, 6.2), A_2 por (4750, 85, 1.3, 5.4, 6.2, 5.8) y así sucesivamente.

Determinación de A+ y A-

Los valores de la alternativa ideal A+ corresponden a los valores nominales más deseados de la Tabla 3 y los valores de A- indican los valores menos deseados. Por ejemplo, el mejor valor del criterio costo es

TABLA 2
PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

Variables	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Expertos						
E_1	8	9	8	7	6	8
E_2	8	8	7	6	5	9
E_3	6	8	7	9	5	7
E_4	7	8	6	7	9	7
E_5	8	5	6	7	9	7
Promedio	7.4	7.6	6.8	7.2	6.8	7.6
W	0.17051	0.17512	0.15668	0.16590	0.15668	0.17512

TABLA 3.
OBTENCIÓN DE VALORES PARA CRITERIOS CUALITATIVOS

Expertos alternativas	E ₁			E ₂			E ₃			E ₄			E ₅			Promedio		
	X ₄	X ₅	X ₆	X ₄	X ₅	X ₆	X ₄	X ₅	X ₆	X ₄	X ₅	X ₆	X ₄	X ₅	X ₆	X ₄	X ₅	X ₆
A ₁	6	9	7	6	6	6	3	7	5	7	6	8	4	7	5	5.2	7	6.2
A ₂	4	7	5	5	7	6	6	6	6	5	6	6	7	5	6	5.4	6.2	5.8
A ₃	6	8	5	3	8	5	4	7	6	5	5	5	3	4	4	4.2	6.4	5
A ₄	7	2	5	7	5	6	6	6	6	5	8	8	7	3	8	6.4	4.8	6.6
A ₅	6	7	7	8	4	7	7	5	7	6	7	7	8	5	6	7	5.6	6.8
A ₆	9	6	8	9	3	6	8	4	8	7	6	6	9	6	7	8.4	5	7

TABLA 4.
VALORES DE LOS CRITERIOS Y LAS ALTERNATIVAS

Variables	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Alternativas						
A ₁	8500	90	1.4	5.2	7	6.2
A ₂	4750	85	1.3	5.4	6.2	5.8
A ₃	6300	105	0.9	4.2	6.4	5
A ₄	4800	95	1.3	6.4	4.8	6.6
A ₅	7200	98	1.6	7	5.6	6.8
A ₆	9400	93	1.9	8.4	5	7

TABLA 5.
ALTERNATIVAS IDEAL E ANTI-IDEAL

Alternativas	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
A ⁺	4750	105	1.9	8.4	7	7
A ⁻	9400	85	0.9	4.2	4.8	5

el menor (\$ 4750, de la alternativa A_2), mientras que el mejor valor del criterio de la velocidad corresponde al más alto (1.9 m/s, de la alternativa A_6); los vectores A^+ y A^- , son los que se muestran en la Tabla 5.

Normalización y ponderación de las alternativas

Dado que las variables cuantitativas y cualitativas se encuentran expresadas en diferentes unidades de medición, se procede a la normalización de las mismas con la finalidad de convertir los criterios de evaluación

en unidades adimensionales y así poder realizar comparaciones entre ellas. Para este cálculo se emplean las ecuaciones 7, 8 y 9. El proceso se indica en la Tabla 6.

La matriz de valores normalizados de la Tabla 6 se multiplica por la ponderación o factor de importancia (w) que tiene cada uno de los criterios de evaluación obtenidos en la Tabla 2. Para la realización de esta operación, se considera al criterio como un vector columna y a la ponderación de ese criterio, como un escalar. La matriz que se obtiene se ilustra a continuación en la Tabla 7.

TABLA 6
NORMALIZACIONES DE LOS CRITERIOS

Variables Alternativa	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
A_1	0.49260	0.38864	0.39886	0.33967	0.48560	0.40369
A_2	0.27528	0.36705	0.37037	0.35274	0.43010	0.37764
A_3	0.36511	0.45341	0.25641	0.27435	0.44397	0.32556
A_4	0.27818	0.41023	0.37037	0.41806	0.33298	0.42973
A_5	0.41727	0.42319	0.45584	0.45725	0.38848	0.44275
A_6	0.54476	0.40159	0.54131	0.54870	0.34685	0.45578
A^+	0.27528	0.45341	0.54131	0.54870	0.48560	0.45578
A^-	0.54476	0.36705	0.25641	0.27435	0.33298	0.32556

TABLA 7
PONDERACIÓN DE CRITERIOS NORMALIZADOS

Criterio Alternativa	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
A_1	0.08399	0.06806	0.06249	0.05635	0.07608	0.07069
A_2	0.04694	0.06428	0.05803	0.05852	0.06739	0.06613
A_3	0.06225	0.07940	0.04018	0.04551	0.06956	0.05701
A_4	0.04743	0.07184	0.05803	0.06936	0.05217	0.07525
A_5	0.07115	0.07411	0.07142	0.07586	0.06087	0.07753
A_6	0.09289	0.07033	0.08481	0.09103	0.05435	0.07981
A^+	0.04694	0.07940	0.08481	0.09103	0.07608	0.07981
A^-	0.09289	0.06428	0.04018	0.04551	0.05217	0.05701

Calcular distancias entre alternativas

Para calcular las distancias que existen de una alternativa cualquiera a las alternativas ideal e anti-ideal, considerando estas como vectores en el espacio euclidiano, se emplea la ecuación 10. Los resultados se resumen en la Tabla 8.

Ordenar las alternativas y selección

A la derecha de cada índice de la Tabla 8 se indica entre corchetes el orden de preferencia que tienen las alternativas analizadas. De acuerdo los criterios de selección establecidos por Srinivasan y Shocker [1973], Zeleny [1974], los órdenes de preferencia de las alternativas son los que se ilustran en la Tabla 9 y la A_5 debe ser elegida, ya que en la técnica TOPSIS se consideran las distancias a la ideal e anti-ideal.

Resultados y recomendaciones

Al final de esta evaluación multicriterio se

ha logrado generar una metodología para la justificación de inversiones en robots, la cual puede servir de marco de referencia para otras empresas que deseen realizar la misma inversión. La metodología integra criterios cuantitativos y cualitativos en la evaluación de las alternativas, mejorando las críticas que se realizan frecuentemente a las técnicas económicas de flujo descontado tradicionales, lo que robustece la metodología. El robot seleccionado mediante esta metodología no ha presentado problema alguno en su corto periodo de operación y los integrantes del grupo de decisión consideran que fue una buena elección, calificando la metodología como eficiente.

Finalmente es conveniente señalar dos aspectos importantes que se deben considerar; el primero es que esta metodología responde solamente a las necesidades de esta empresa y que cualquier otra debe realizar su propio análisis de necesidades para determinar los

TABLA 8
DISTANCIAS ENTRE ALTERNATIVAS

Alternativa	$p(A^k, A^+)$	$p(A^k, A^-)$	$RC(A^k, A^+)$
A_1	0.05732 [5]	0.03831 [6]	0.59937 [5]
A_2	0.04760 [3]	0.05398 [4]	0.46859 [4]
A_3	0.06972 [6]	0.03833 [5]	0.64524 [6]
A_4	0.04286 [2]	0.05782 [2]	0.42571 [2]
A_5	0.03550 [1]	0.05443 [3]	0.39474 [1]
A_6	0.05164 [4]	0.06801 [1]	0.43156 [3]

TABLA 9
SOLUCIONES PROPUESTAS

Srinivasan Shocker	$A_5 > A_4 > A_2 > A_6 > A_1 > A_3$
Zeleny	$A_6 > A_4 > A_5 > A_2 > A_3 > A_1$
TOPSIS	$A_5 > A_4 > A_6 > A_2 > A_1 > A_3$

critérios que deben ser analizados y el segundo es que dos grupos de decisión diferentes que evalúan las mismas TMA pueden llegar a concluir que alternativas diferentes deben ser elegidas, aun cuando ambos grupos sean lógicos y racionales.

REFERENCIAS

- Al Khalil, M. (2002) "Selecting the appropriate project delivery method using AHP" en *International Journal of Project Management*. Vol. 20, No. 6, pp 469-474.
- Al-Harbi, K. (2001) "Application of the AHP in project management" en *International Journal of Project Management*. Vol. 19, No.1, pp 19-27.
- Canada, J. y Sullivan, W. (1990) "Persistent pitfalls and applicable approaches for justification of advanced manufacturing systems" en *Engineering Costs and Production Economics*. Vol. 18, No. 3, pp 247-253.
- Chen, S. y Hwang, C. (1992) *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Churchill G. y Surprenant, C. (1982) "An investigation into the determinants of customer satisfaction" en *Journal of Marketing Research*. Vol. 19, pp 491-504.
- Hwang, C. y Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision. Making: Methods and Applications, A State- of - the - Art Survey*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Khouja, M. (1995) "The use of data envelopment analysis for technology selection" en *Computers and Industrial Engineering*. Vol. 28, pp 123-132.
- Luong, L. (1998) "A decision support system for the selection of computer integrated manufacturing technologies" en *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 14, pp 45-53.
- Parkan, C. y Wu, L. (1999) "Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection" en *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 36, No. 3, pp 503-523.
- Small, M. y Chen, I. (1997) "Economic and strategic justification of AMT inferences from industrial practices" en *International Journal of Production Economics*. Vol. 49, No. 1, pp 65-75.
- Sohal, A. y Millen, A. (1998) "Planning processes for advanced manufacturing technology by large American manufacturers" en *Technovation*. Vol. 18, No. 12, pp 741-750.
- Srinivasan, V. y Shocker, A. (1973) "Estimating the weights for multiple attributes in a composite criterion using pairwise judgments" en *Psychometrika*. Vol. 38, pp 473-493.
- Suresh, N. y Meredith, J. (1985) "Achieving factory automation through Group Technology principles" en *Journal of Operations Management*. Vol. 5, No. 2, pp151-167.
- Yoon, K (1980) *Systems Selection by Multiple Attribute Decision Making*. PhD dissertation. Kansas State University, Manhattan, USA.
- Yoon, K. y Hwang, C. (1995) *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Sage, California, USA.
- Yusuff, R. y Hashmib, M. (2001) "A preliminary study on the potential use of the analytical hierarchical process (AHP) to predict advanced manufacturing technology (AMT) implementation" en *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Vol. 17, No. 5, pp 421-427.
- Zeleny, M. (1974) *Linear Multiobjective Programming*. Springer- Verlag. New York, New York, USA.