

Jorge Luis García Alcaraz, Salvador A. Noriega Morales, Juan José Díaz Núñez
Análisis comparativo de técnicas multicriterio para justificación de inversiones en robots
Ciencia Ergo Sum, vol. 13, núm. 1, marzo-junio, 2006, pp. 68-74,
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10413108>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Análisis comparativo de técnicas multicriterio para justificación de inversiones en robots

Jorge Luis García Alcaraz*, Salvador A. Noriega Morales** y Juan José Díaz Núñez***

Recepción: 11 de octubre de 2005

Aceptación: 15 de noviembre de 2005

*Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

Correo electrónico:

jorgeandres_garcia@yahoo.com.mx,

jlg71@hotmail.com, jlgarcia@itcj.edu.mx

**Instituto de Ingeniería y Tecnología,

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Correo electrónico: snoriega@uacj.mx

***Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Correo electrónico: jjdiaz@yagerdiaz.org,

josevictorg@yahoo.com

Resumen. En este artículo se presenta un análisis comparativo de los resultados de la aplicación de dos técnicas para evaluar robots industriales, una de las cuales ha sido reportada en la literatura y la otra es una evaluación mediante la técnica TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Se discuten los resultados obtenidos por las dos técnicas y se demuestra su solidez ante cambios en la evaluación. Finalmente, se hace una serie de recomendaciones y observaciones.

Palabras clave: TOPSIS, inversión en robots, técnicas multicriterio, justificación de robots.

Comparative Analysis of Multicriterion Techniques for Robots Investment Justification

Abstract. This paper presents a comparative analysis of the results of two multicriterion techniques for evaluating industrial robots; one of these has been reported in literature, and the other one is an evaluation through a technique called TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). The results obtained by the two techniques are discussed thus proving their robustness. Finally, some recommendations and observations are carried out.

Key words: TOPSIS, robots investment, multicriterion techniques, robots justification.

Introducción

En la actualidad los estándares de calidad, servicio y costo en los productos industriales son muy elevados; por lo que estas características son objetivos estratégicos de las empresas, las cuales responden invirtiendo en Tecnología Avanzada para la Manufactura (TMA) con el fin de alcanzar esos

objetivos y mantenerse en el ambiente dinámico del mercado de estos tiempos de globalización (Lefley *et al.*, 2004). Sin embargo, las empresas que deciden invertir en TMA se enfrentan a otro tipo de problemas en la selección de la tecnología idónea, ya que existen muchas alternativas de solución, características o atributos por evaluar y técnicas de evaluación (Small y Chen, 1997).

Respecto al caso específico de los criterios de evaluación para inversiones en robots, es ampliamente aceptado que existen dos tipos; los primeros se denominan criterios objetivos y son medidos generalmente en términos numéricos y son características de costos e ingeniería, tales como la capacidad de carga, la precisión, velocidad, repetibilidad, costo de compra, costo de mantenimiento, costo de instalación y otros (Braglia y Gabbrielli, 2000). Los segundos son denominados subjetivos y para su determinación se requiere del juicio de personas expertas en el área, quienes basados en su experiencia valoran los niveles de conformancia de las alternativas con respecto a los criterios de evaluación; algunos ejemplos de estos criterios son la calidad del servicio ofrecido por el proveedor, la facilidad de programación y la interfase hombre-máquina. Por ejemplo, se solicita a personas expertas que emitan su juicio sobre la presencia de estos criterios en las alternativas en una escala comprendida entre un valor máximo y un valor mínimo, finalmente los juicios se suman y promedian (Parkan y Wu, 1999).

Las técnicas de evaluación empleadas en la evaluación de robots se dividen en económicas, estratégicas y analíticas (Chan *et al.*, 2001). Las técnicas económicas representan la práctica industrial, sin embargo son ampliamente criticadas por no integrar aspectos cualitativos en el análisis y sus modelos son calificados como ineficientes, ya que no representan la totalidad del problema; algunos ejemplos de estas técnicas son el Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) (Chan *et al.*, 1999). Con relación a las metodologías estratégicas, éstas se basan en los objetivos y misión de la empresa; sin embargo, son criticadas por no integrar aspectos económicos en la evaluación (Dessureault y Scoble, 2000). Finalmente, las técnicas analíticas son poco conocidas, pero tienen la ventaja de integrar en la evaluación aspectos económicos, estratégicos, sociales y tecnológicos, por lo que se recomiendan ampliamente; algunas de éstas son el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, Analytic Hierarchy Process, por sus siglas en inglés) y Análisis Dimensional (Chen y Small, 1997).

Las metodologías anteriores, multicriterio y multiatributos, aplicadas en la evaluación de robots, son ampliamente reportadas en la literatura; por ejemplo, se ha desarrollado un sistema experto para la selección y

evaluación (Boubekri *et al.*, 1991), se han empleado métodos auxiliados por computadora (Offodile *et al.*, 1987) y (Wie *et al.*, 1992); asimismo se han propuesto técnicas de programación por metas, la cual ofrece como resultado una solución semejante a una solución ideal establecida (Imany y Schlesinger, 1989), aunque inicialmente se sugirió una metodología económica que incorporaba varios costos del robot (Knott y Getto, 1982). Finalmente se ha propuesto un modelo y una metodología basada en TOPSIS (García *et al.*, 2005a y García *et al.*, 2005b).

Se concluye, entonces, que las inversiones en robots son decisiones complejas; que no se cuenta con una estructura para el problema; no existe un acuerdo generalizado del mismo y son muchas las técnicas de evaluación que existen, las cuales pueden proponer soluciones diferentes. Con la finalidad de realizar un análisis específico de dos técnicas de evaluación multicriterio, en este artículo se presenta la evaluación

de un problema de selección de robots obtenido de la literatura, el cual ha sido resuelto mediante un Modelo Revisado de Decisión de Sumas Ponderadas, mismo que se soluciona por la técnica denominada TOPSIS.

Este artículo está dividido en cuatro secciones. En la sección uno se describe la técnica TOPSIS, en la dos se desarrolla y evalúa el problema de inversión típico de la literatura, en la tercera sección se discuten los resultados y, finalmente, en la cuarta se exponen algunas observaciones del caso.

1. Técnica TOPSIS

Existen muchas técnicas de evaluación multicriterio, algunos de los cuales han sido revisados ampliamente (Hwang y Yoon, 1981), (Chen y Wang, 1992) y (Yoon y Wang, 1995). Se ha desarrollado una técnica denominada TOPSIS 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 (Yoon, 1980) y (Hwang y Yoon, 1981).

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; tal como se indica en la ecuación 1.

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

Los criterios de evaluación para inversiones en robots se dividen en criterios objetivos medidos en términos numéricos y los subjetivos donde se requiere del juicio de personas expertas en el área.

De modo similar, el vector x -ésimo puede ser analizado como un vector en el espacio K -dimensional, ya que existen k alternativas y está dado por la ecuación 2.

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

La técnica TOPSIS parte del supuesto de que existe una alternativa que debe ser mejor o peor a todas las demás. Así, a la alternativa con las mejores características nominales en los atributos se le llama alternativa ideal y está dada por:

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

De la misma manera 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 es de la forma:

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

Se sugiere 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 (Srinivasan y Shocker, 1973). 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 (Zeleny, 1974). El proceso de la técnica TOPSIS puede ser resumida en los siguientes pasos.

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

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

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

$$\|X_i\| = \sqrt{\sum_{x=1}^n x_i^2} \quad (6)$$

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 de solución y alternativas ideal y anti-ideal estarán con coordenadas menores a la unidad. Una forma de normalizar los vectores de las alternativas de manera directa es usando las ecuaciones 7, 8 y 9.

$$TA^k = (t^k, \dots, t_n^k) = (x_1^k / \|X_1\|, \dots, x_n^k / \|X_n\|) \quad k = 1, \dots, K \quad (7)$$

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

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

b) Calcular, según las ecuaciones 10 y 11, las distancias de los puntos que representan a cada alternativa con los puntos correspondientes a la alternativa ideal y 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 importancia que los elementos del grupo de decisión han proporcionado al criterio de evaluación.

c) Ordenar las alternativas de acuerdo con la cercanía y lejanía de los puntos de éstas a los puntos de la solución ideal y 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.

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

2. Solución al problema de selección de robots

En esta sección se analiza el mismo problema que ha analizado Goh *et al.* (1996) mediante un Modelo de Decisión Revisado de Sumas Ponderadas, con la finalidad de realizar comparaciones entre esta técnica y TOPSIS. Se presenta primeramente la solución al problema desde el

punto de vista de Goh, ya que fue él quien lo definió y finalmente se expone la solución mediante la técnica TOPSIS.

2.1. Método Revisado de Decisión de Sumas Ponderadas (Goh et al., 1996)

Este modelo fue propuesto por (Goh et al., 1996) y parte del supuesto de que existe una serie de criterios objetivos como requerimiento básico, los cuales deben ser satisfechos por la alternativa que se seleccione. Los valores críticos (VC) de estos criterios son los que aparecen en la tabla 1, junto con los valores objetivos del conjunto de alternativas propuestas.

Para la evaluación de los criterios subjetivos, Goh contó con la ayuda de un grupo de decisión compuesto por cinco expertos, quienes emitieron sus juicios sobre los niveles de conformidad que tenía cada una de las alternativas con respecto a los criterios evaluados, los cuales estaban expresados en una escala de 1 a 9; el 1 indica una nula presencia del criterio en la alternativa, mientras que 9 representa la excelencia del mismo. Para la obtención de un valor que represente la alternativa, se calcula la media aritmética de estos juicios y se ingresa en una tabla de decisión, como se ilustra en la tabla 2.

Analizando los valores críticos de la tabla 1 y la información de los valores objetivos, se observa que el robot número cinco no cumple con los requisitos mínimos de velocidad exigidos (se requiere de una velocidad mínima de 0.7 m/s y el robot 5 alcanza solamente 0.5 m/s); asimismo, el robot 6 rebasa el presupuesto establecido (el robot tiene un precio de \$9,800, pero se tiene un presupuesto de \$9,500 solamente); por lo que quedan eliminados automáticamente de la evaluación.

Para Goh, la normalización de los criterios debe realizarse en función de si éstos deben maximizarse o minimizarse; cuando se desea maximizar un criterio, como por ejemplo, la velocidad, la normalización se realiza con base en la suma acumulada de cada criterio en cada alternativa, la cual representa el factor común entre la que se divide cada valor. Cuando los criterios se desean minimizar –por ejemplo, el costo–, se calcula la suma de los inversos del criterio en las alternativas, el cual es el denominador por el cual se dividen cada uno de los inversos. Las ecuaciones 13 y 14 ilustran estos casos y la normalización de los criterios objetivos se ilustra en la tabla 3.

Tabla 1. Criterios objetivos de las alternativas.

Criterios	VC	Robots					
		1	2	3	4	5	6
Velocidad (V, m/s)	0.7	1.8	1.8	0.8	0.8	0.5	1.0
Capacidad de carga (CC, Kg.)	55	90	80	70	60	75	85
Costo (C, \$)	9500	9500	5500	4000	4000	7000	9800
Repetibilidad (R, mm)	0.48	0.45	0.30	0.20	0.15	0.35	0.25

Tabla 2. Evaluación de los expertos para los criterios subjetivos.

Expertos	Calidad del servicio (CS)						Flexibilidad de programación (FP)					
	Robot						Robot					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Experto 1	2	3	4	9	8	4	9	8	7	2	8	7
Experto 2	9	8	7	3	5	6	3	4	5	8	7	6
Experto 3	8	7	6	4	6	3	4	5	6	7	5	7
Experto 4	7	6	5	5	5	7	5	6	7	6	6	6
Experto 5	9	8	7	3	7	4	3	4	5	8	5	6

Tabla 3. Normalización de los criterios objetivos.

Criterios	Robot			
	1	2	3	4
Velocidad (m/s)	0.3750	0.2916	0.1667	0.1667
Capacidad de carga (Kg)	0.3000	0.2667	0.2333	0.2000
Costo (\$)	0.1401	0.2293	0.3153	0.3153
Repetibilidad (mm)	0.1290	0.1935	0.2903	0.3875

$$VN_i = \frac{V_i}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}, \text{ para maximizar un criterio} \quad (13)$$

$$VN_i = \frac{1/V_i}{1/V_1 + 1/V_2 + \dots + 1/V_n}, \text{ para minimizar un criterio} \quad (14)$$

Goh propone, para la normalización de los criterios subjetivos, eliminar el juicio máximo y mínimo, ya que según él esto permite eliminar juicios extremos en las valoraciones. En este caso los dos criterios subjetivos se deben maximizar, por lo que se emplea la ecuación 10. A manera de ejemplo se ilustran los casos en que se eliminan y no se eliminan los valores extremos, con la finalidad de realizar un análisis comparativo de la sensibilidad de la técnica propuesta por Goh y TOPSIS, como se ilustra en las tablas 4 y 5.

Para la obtención de la ponderación de los criterios, Goh solicitó a los expertos que emitieran su juicio en una escala de 1 a 9 sobre la importancia que tiene cada uno de estos criterios; el 1 indica nula importancia de ese criterio en la evaluación y 9 representa una importancia extrema. La tabla 6 ilustra los juicios emitidos por los expertos sobre la importancia de los criterios; las ponderaciones de los mismos, incluyendo y excluyendo los valo-

Tabla 4. Normalización de criterios subjetivos –eliminando extremos.

Criterio	Robot			
	1	2	3	4
Calidad del servicio	0.3200	0.2800	0.2400	0.1600
Flexibilidad de programación	0.1818	0.2273	0.2727	0.3182

Tabla 5. Normalización de criterios subjetivos –sin eliminar extremos.

Criterio	Robot			
	1	2	3	4
Calidad del servicio	0.2916	0.2667	0.2417	0.2000
Flexibilidad de programación	0.2143	0.2410	0.2679	0.2768

Tabla 6. Juicios de los expertos para la ponderación.

	V	CC	C	R	CS	FP
Experto 1	2	2	8	8	2	9
Experto 2	9	9	5	5	9	6
Experto 3	8	8	6	6	8	7
Experto 4	7	7	7	7	7	8
Experto 5	9	9	5	5	9	6

Tabla 7. Ponderación de los criterios.

Criterio	Ponderación	
	excluyendo extremos	excluir extremos
Velocidad	0.1860	0.1724
Capacidad de carga	0.1860	0.1724
Costo	0.1396	0.1527
Repetibilidad	0.1396	0.1527
Calidad del servicio	0.1860	0.724
Flexibilidad de programación	0.1628	0.1771

res extremos, se ilustran en la tabla 7 y están basadas en una normalización escalar, en la que se suman los promedios de los juicios emitidos por los expertos y este factor es el denominador para dichos promedios; la suma es la unidad.

Una vez que se tienen las ponderaciones de los criterios y los valores normalizados, se procede a aplicar el Modelo de Decisión Revisado de Sumas Ponderadas, el cual multiplica la ponderación del criterio por el valor de la alternativa con respecto a éste. El modelo de Goh puede ser expresado por la ecuación 15.

$$SVA = \sum_{i=1}^n (w_i * VC_i) \quad (15)$$

Donde:

SVA = Suma de Valores de la Alternativa

w_i = Ponderación del criterio i .

VC_i = Valor del criterio i .

Al aplicar la ecuación 15 al conjunto de datos anteriores, en la que se multiplica la ponderación por el valor normalizado del criterio para cada robot, se obtienen los

Tabla 8. Ponderación final de las alternativas según Goh (4 alternativas).

Robot	SVA excluyendo valores extremos		SVA sin excluir valores extremos	
1	0.2522	[1]	0.2458	[4]
2	0.2520	[2]	0.2495	[3]
3	0.2480	[3]	0.2506	[2]
4	0.2478	[4]	0.2541	[1]

Tabla 9. Ponderación final de las alternativas según Goh (6 alternativas).

Robot	SVA sin excluir valores extremos		SVA excluyendo valores extremos	
1	0.171467	[4]	0.176976	[2]
2	0.175231	[3]	0.177482	[1]
3	0.175807	[2]	0.174169	[3]
4	0.178716	[1]	0.174188	[4]
5	0.143010	[6]	0.140428	[6]
6	0.155766	[5]	0.156754	[5]

Tabla 10. Análisis por TOPSIS sin excluir extremos (6 alternativas).

Robot	$\rho(A^+, A^k)$	$\rho(A^-, A^k)$	$RC(A^+, A^k)$
1	0.0815	0.0891	0.4778 [4]
2	0.0453	0.0793	0.3635 [1]
3	0.0672	0.0783	0.4619 [2]
4	0.0727	0.0847	0.4621 [3]
5	0.0960	0.0426	0.6928 [6]
6	0.0790	0.0600	0.5684 [5]

datos que aparecen en la tabla 8. Los números que se encuentran en corchetes en las columnas 2 y 3 (de izquierda a derecha) indican el orden de preferencia que alcanza cada robot, basados en la SVA y asumiendo que el criterio de selección consiste en elegir la alternativa que obtenga el mayor índice en su SVA. Como puede observarse, existe un problema de reversa de rangos cuando se incluyen y cuando se excluyen los valores extremos de los juicios de los expertos; es decir, el orden de preferencia es completamente inverso.

Sin embargo, con el fin de conocer la sensibilidad del modelo propuesto por Goh, se agregan los robots 5 y 6 que no cumplen con los requisitos mínimos en los criterios objetivos. Igualmente se analiza el problema en sus dos casos, cuando no se excluyen y cuando se excluyen los valores extremos de los juicios de los expertos, con la finalidad de observar el orden de preferencia que la técnica sugiere y determinar así la sensibilidad de la misma. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 9.

3. Evaluación por TOPSIS

La evaluación llevada a cabo con la técnica TOPSIS siguió la metodología descrita anteriormente en la sección 1. Se consideran dos casos de evaluación, el primero incluye los dos robots que no cumplen los requerimientos básicos y en el segundo se excluyen.

La tabla 10 expone los resultados obtenidos cuando no se excluyen los dos robots que no cumplen con los requerimientos mínimos de los valores objetivos, es decir, se analiza el conjunto de seis alternativas. Además, no se excluyen los valores extremos de los juicios de los expertos que participaron en la valoración de los criterios subjetivos y los juicios emitidos para el cálculo de las ponderaciones o niveles de importancia de los criterios. Se aplica la técnica TOPSIS en su forma ordinaria. Las comparaciones se realizan contra una alternativa ideal y una anti-ideal, lo que hace diferente este proceso de evaluación.

En la segunda columna de la tabla 10 (de izquierda a derecha) se indica la distancia que tienen las alternativas a A^+ , obtenida mediante la ecuación (10); la tercera indica la distancia que éstas tienen a A^- , obtenida por medio de la ecuación (11) y la cuarta contiene el índice de decisión RC , obtenido mediante la ecuación (12) y las preferencias se indican entre corchetes, en la que el criterio de selección consiste en elegir aquella alternativa con menor índice RC .

En este mismo caso, cuando se analizan las 6 alternativas, se estudia el impacto de la exclusión de los valores extremos de los juicios emitidos por los expertos; esto con la finalidad de observar el impacto que tiene la eliminación de estos valores en el análisis. La tabla 11 indica este caso.

La segunda evaluación que se realiza mediante la técnica TOPSIS consiste en considerar solamente los robots que cumplen con los requerimientos básicos establecidos por Goh y que se indicaron en la tabla 1, es decir, se excluyen los robots cinco y seis. Se consideran además los casos en que se excluyen y no los valores extremos de los juicios de los expertos. El procedimiento seguido en esta evaluación es similar a la presentada anteriormente, se determinó una alternativa ideal y otra anti-ideal, se normalizaron todas las alternativas y se calculó la distancia que existe entre cada una de éstas y las alternativas ideal y anti-ideal. En la tabla 12 se ilustra el valor del índice de decisión RC en cada uno de los dos casos de evaluación, en que se excluyen y no se excluyen los valores extremos de los juicios de los expertos. Los valores entre corchetes indican el orden de preferencia según estos dos casos de evaluación.

4. Discusión de resultados

En este artículo se han presentado los resultados de un mismo problema de selección de robots, evaluados mediante dos técnicas distintas. En la técnica que aplicó Goh, se observa que el Modelo de Decisión Revisado de Su-

Tabla 11. Análisis por TOPSIS excluyendo valores extremos (6 alternativas).

Robot	$\rho(A^+, A^k)$	$\rho(A^-, A^k)$	$RC(A^+, A^k)$
1	0.0762	0.0945	0.4465 [2]
2	0.0445	0.0803	0.3565 [1]
3	0.0710	0.0741	0.4893 [3]
4	0.0771	0.0797	0.4918 [4]
5	0.0987	0.0412	0.7053 [6]
6	0.0790	0.0593	0.5714 [5]

Tabla 12. Análisis por TOPSIS excluyendo e incluyendo valores extremos (4 alternativas).

Robot	$RC(A^+, A^k)$	$RC(A^-, A^k)$
	Sin excluir extremos	Excluyendo extremos
1	0.561351 [4]	0.507708 [4]
2	0.397510 [1]	0.402259 [1]
3	0.434692 [2]	0.469269 [2]
4	0.438648 [3]	0.492332 [3]

Tabla 13. Robot sugerido a elegir por cada técnica y condición de evaluación.

Condición de evaluación	Método de Goh	TOPSIS
Con 4 alternativas	Sin excluir extremos	4
	Excluyendo extremos	1
Con 6 alternativas	Sin excluir extremos	4
	Excluyendo extremos	2

mas Ponderadas es fácilmente afectado por la exclusión de los valores extremos de las opiniones de los expertos que evaluaron los criterios subjetivos y su ponderación, ya que el orden de preferencia incurre en el problema de reversa de rangos, es decir, que bajo diferentes condiciones de evaluación la técnica sugiere tres alternativas diferentes como la solución al problema de selección (alternativa 1, 2 y 4), como se observa en la tabla 13. Sin embargo, cuando se analiza el problema mediante la técnica TOPSIS, el problema de reversa de rangos no se presenta en ninguna de las condiciones de evaluación y siempre sugiere como solución a la alternativa 2.

Conclusiones

Se concluye, con base en las comparaciones realizadas, que la técnica denominada TOPSIS es robusta ya que integra en su evaluación variables cualitativas y cuantitativas; además, cuando se realizan cambios en el número de alternativas a evaluar y condiciones de evaluación, ésta no presenta problemas graves de reversa de rangos y siempre sugiere la misma alternativa como solución al problema de selección (robot 2).

Sugerencias y futuros trabajos

En la toma de decisiones, frecuentemente intervienen factores cualitativos, los cuales son difíciles de cuantificar

y para su obtención se recurre a la opinión y juicios de expertos en el tema. Con el fin de obtener un valor que represente este criterio en la evaluación, generalmente se promedian mediante la media aritmética estos juicios; además, frecuentemente éstos también se normalizan, por lo que se sugieren las siguientes investigaciones:

1. Estudiar el impacto que tiene en el análisis el uso de la media geométrica de los juicios de los expertos que

evalúan los criterios subjetivos en las alternativas y determinan la ponderación de los mismos, ya que ésta es menos afectada por valores extremos que la media aritmética.

2. Analizar los efectos que tiene el proceso de normalización escalar y vectorial, ya que el Modelo Revisado de Decisión de Sumas Ponderadas emplea el primero y TOPSIS el segundo.

Bibliografía

- Boubekri, N.; M. Sahoui y C. Lakrib (1991). "Development of an Expert System for Industrial Robot Selection", *Computers and Industrial Engineering*. Vol. 21, 119-127.
- Braglia, M. y R. Gabbrielli (2000). "Dimensional Analysis for Investment Selection in Industrial Robots", *International Journal of Production Research*. Vol. 38, núm. 18: 4843-3448.
- Bridgman, P. (1931). *Dimensional Analysis*. 2a ed., Yale University Press, New Haven.
- Buckingham, E. (1941). "On Physically Similar Systems: Illustration of the Use of Dimensional Equations", *The physicist Review*. Vol. 4: 345-376.
- Chan, F.; M. Chan; H. Lau y R. Ip. (2001). "Investment Appraisal Techniques for Advanced Manufacturing Technology (AMT): A Literature Review", *Integrated Manufacturing Systems*. Vol. 12, núm. 1: 35-47.
- Chan, F.; M. Chan; K. Mak y N. Tang (1999). "An Integrated Approach to Investment Appraisal for Advanced Manufacturing Technology", *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*. Vol. 9, núm. 1: 69-86.
- Chen, S. y C. Hwang (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Dessureault, S. y M. Scoble (2000). "Capital investment Appraisal for the Integration of New Technology Into Mining Systems", *Trans. Institution of Mining and Metallurgy*. Vol. 109: 31-40.
- García, J. L.; S. Noriega; J. Díaz; M. Rodríguez y M. Piña (2005a). "Modelo multicriterio para la justificación de inversiones en robots", *CUICYT*. Vol. 2 (7): 27-34.
- García, J. L.; S. Noriega; J. Díaz y J. Sánchez (2005b). "Evaluación y justificación de inversiones en robots: una metodología multi-criterio", *Revista Aportes*. Vol. 10 (30): 123-134.
- Goh, C.; Y. Tung y C. Cheng (1996). "A Revised Weighted Sum Decision Model for Robot Selection", *Computers of Industrial Engineering*. Vol. 30.
- Hwang, C. y K. Yoon (1981). *Multiple Attribute Decision. Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Imany, M. y R. Schlesinger (1989). "Decision models for robot selection: a comparison of ordinary least squares and linear goal programming methods", *Decision Sciences*. Vol. 20: 40-53.
- Knott, K. y R. Gretto (1982). "A model for evaluating alternative robot systems under uncertainty", *International Journal of Production Research*. Vol. 20.
- Lefley, F.; F. Wharton; L. Hájek; J. Hynek y V. Janecek (2004). "Manufacturing investments in the Czech Republic: An international Comparison", *International Journal of Productions Economics*. Vol. 88.
- Offodile, O.; B. Lambert y R. Dudek (1987). "Development of a computer aided robot selection procedure (CARSF)", *International Journal of Production Research*. Vol. 25.
- Parkan, C. y L. Wu (1999). "Decision-making and Performance Measurement Models with Applications to Robot Selection", *Computers of Industrial Engineering*. Vol. 36, núm. 3.
- Small, M. e I. Chen (1997). "Economic and strategic justification of AMT inferences from industrial practices", *International Journal of Production Economics*. Vol. 49, núm. 1.
- Srinivasan, V. y A. Shocker (1973). "Estimating the Weights for Multiple Attributes in a Composite Criterion Using Pairwise Judgments", *Psychometrika*. Vol. 38.
- Wei, C.; A. Kamrani y H. Weibe (1992). "Animated Simulation of the Robot Process Capability", *Computers and Industrial Engineering*. Vol. 23.
- Willis, T.; C. Huston y F. Pohlkamp (1993). "Evaluation Measures of just-in Time Supplier Performance", *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter: 1-6.
- Yoon, K. (1980). *Systems Selection by Multiple Attribute Decision Making*. Tesis doctoral. Kansas State University, Manhattan.
- Yoon, K. y C. Hwang (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Sage, California.
- Zeleny, M. (1974). *Linear Multiobjective Programming*. Springer-Verlag. Nueva York.