

Modelo Multicriterio para la Justificación de Inversiones en Robots

MC Jorge Luis García Alcaraz¹, Dr. Salvador Noriega Morales², Dr. Juan José Díaz Núñez³, Dr. Manuel A. Rodríguez Medina⁴, MC Manuel Román Piña Monarrez⁵

Resumen

En este artículo se analiza la problemática de las inversiones en Tecnologías para la Manufactura Avanzada y se presenta un modelo para la evaluación y justificación de un robot con tres variables cuantitativas y tres variables cualitativas (atributos); el conjunto de alternativas consta de 6 robots con características diferentes. Para la evaluación se emplea un modelo que se basó en la metodología denominada TOPSIS (del inglés, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), la cual es una metodología multicriterio para evaluación de alternativas.

Para la evaluación de las variables cualitativas se recurre a la opinión de cinco expertos en robótica, los cuales emiten sus juicios sobre las características de los robots y las necesidades que la empresa tiene de éstas. Después de un proceso de evaluación, se obtiene una solución propuesta; la cual está basada en las distancias que tiene el vector que representa a cada alternativa, a un vector ideal y a un vector anti-ideal.

Abstract

We analyzed in this article the Advanced Manufacturing technology investment problem and we proposed a model for the justification of a robot with three quantitative variables and three qualitative variables (attributes). We need

to choose a robot from a set of 6 alternatives (robots) with different characteristics. The evaluation model is based on TOPSIS (Technique for Order - Preference by Similarity to Ideal Solution), this is a multi-criterion methodology for alternatives evaluation.

For the evaluation of the qualitative variables we ask the opinion to five experts in robotics, who emit their judgments on the characteristics of robots and the necessities that the company has of these. After an evaluation process, a propose solution is obtained; which is based on the distances that the vector representing each alternative has to an ideal vector and to an anti-ideal vector.

1. Introducción

La calidad y el precio de un producto son dos de los factores más dominantes y que tienen mayor influencia en la decisión de compra, la satisfacción del cliente y también la cuota de mercado, según Churchill y Suprenant (1982). Así, para que una empresa logre la calidad y bajo precio, debe realizar inversiones en Tecnologías para la Manufactura Avanzada (TMA), logrando de esta manera mantenerse en los mercados dinámicos de estos periodos de globalización. Para Parkan (1998), estas inversiones en TMA, no solo tienen beneficios operativos y económicos, sino que también proporcionan muchas ventajas competitivas y estratégicas.

Para Sohal (1998), desde un punto de vista metodológico, la selección de TMA pertenece a la clase de los problemas llamados toma de decisiones multi-atributos (MADM). Se han generado varias técnicas y metodologías, las cuales son ampliamente difundidas en la literatura. Por ejemplo, Khouja (1995) aplicó el Data Analysis Envelopment (DEA), Al Khalil (2002) aplicó AHP (Analytic Hierarchy Process) a la selección de tecnologías automáticas y Al-Harbi (2001) aplicó la misma herramienta en la selección de proyectos de inversión.

Los procesos de adopción de TMA, deben ser procesos que se realicen analíticamente, en la que se integren variables cualitativas -estratégicas- y cuantitativas -operativas-, según Small y Chen (1997). La integración de estos dos tipos de variables garantiza el éxito del proceso de implantación de la tecnología. Yusuff (2001) considera que si

¹ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez

² Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Cd. Juárez

³ División de Estudios de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez

⁴ División de Estudios de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez

⁵ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez

no se integran estas variables, se presentan problemas en la implantación y existe el riesgo de un fracaso de la inversión.

El objetivo de este artículo es presentar la metodología denominada TOPSIS, la cual es sencilla de aplicar y permite la integración de factores cualitativos y cuantitativos en la evaluación. La técnica se aplica en la evaluación de 6 robots, con características diferentes y se contó con la ayuda de cinco expertos en robótica.

El artículo está organizado en seis secciones; después de esta introducción, se encuentra en la sección dos, una discusión sobre la problemática de las inversiones en TA, en la tres se exponen las técnicas de evaluación de tecnologías, sus ventajas y desventajas, en la sección cuatro se presenta la técnica TOPSIS, en la quinta se realiza un ejemplo y finalmente en la sexta sección se analizan y discuten los resultados.

2. Problemática de las Inversiones en TA

Es aceptado que la competitividad de las empresas en cualquier ramo es mejorada por la implantación de TMA. Aunque ocurren problemas para la justificación de las mismas y muchas veces los resultados no son los esperados. En ese sentido, Yosuff (2001) declara que aproximadamente el 40% de las inversiones en TMA en Estados Unidos de América son consideradas un fracaso o se abandonan los proyectos.

Canadá y Sullivan (1990) resumen la problemática de la evaluación de TMA en cuatro puntos, los que se exponen a continuación:

- Estos tipos de tecnologías requieren a menudo inversiones de capital inicial extremadamente alto que no se justifican fácilmente con métodos tradicionales.
- Muchas compañías imponen tasas de recuperación o rendimiento altas que obstruyen la inversión. Muchas firmas requieren tasas de retorno mínimas atractivas (TREMA) del 30%, y/o períodos de reembolso menores a 3 años para las inversiones de TMA, las cuales hacen difícil justificar el proyecto en términos económicos.
- Las compañías tienen la tendencia a manipular su TREMA, reembolsos, etc. específicamente para las inversiones de TMA debido a los altos niveles de riesgo asociados a las mismas. Basados en

análisis económicos tradicionales solamente, tales requisitos hacen casi imposible que los proyectos de TMA sean justificados con facilidad. Por lo tanto, solamente aquellos proyectos que pueden demostrar una utilidad grande en corto tiempo serán considerados como factibles (con período de retorno corto).

- Las empresas tienden a comparar sus inversiones en TMA con el status quo. Esto significa que las compañías considerarán un “no hacer nada” como alternativa válida y comparable al evaluar sus alternativas de inversión. Sin embargo, las compañías que comparan una opción de inversión en TMA con el status quo, están rechazando una visión realista de los riesgos y los costos de oportunidad asociados a esta decisión.

3. Técnicas para Justificación de TA

Para Small y Chen (1997), las metodologías de evaluación de proyectos tecnológicos se pueden agrupar en principalmente tres corrientes diferentes; las cuales son estratégicas, económicas y analíticas. Las metodologías de cada una de estas corrientes poseen ventajas y desventajas, las cuales se analizan a continuación.

Las evaluaciones estratégicas comprenden las comparaciones con los competidores, la imagen de la empresa, relaciones con clientes, etc. Dado que este tipo de metodologías no son analíticas, se corre el riesgo de no integrar aspectos económicos que son de gran importancia. En el mismo sentido, Meredith y Suresh (1986), recomiendan que las evaluaciones de este tipo sean acompañadas por evaluaciones económicas que hagan más objetivo el proceso de toma de decisiones.

En lo que se refiere a las metodologías económicas, según Wilkes y Samuels (1991), estas deben de realizarse conjuntamente con evaluaciones estratégicas para una mejor evaluación de alternativas. En el mismo sentido Sacristán (2003) declara que estas metodologías se deben emplear solamente en situaciones donde no se considera ninguna incertidumbre; aunque señalan que éstas no integran la totalidad del problema que se analiza, ya que omiten las variables de carácter cualitativo en el análisis. Según Segelod (2000), las metodologías económicas más conocidas y empleadas por empresas americanas, son el Valor Presente

Neto (VPN), Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), Tasa Interna de Retorno (TIR), Periodo de Retorno de la Inversión, entre otras.

Para Goh et al. (1996), las metodologías analíticas son más realistas y eficaces, ya que permiten el análisis de variables cuantitativas y cualitativas. En el mismo sentido, Chen y Small (1997) aseguran que son más completas. Algunas de las técnicas más empleadas son el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Modelo Lineal Aditivo, Programación Lineal y Análisis de Riesgo.

4. Metodología TOPSIS

El proceso de selección de alternativas, es realizado desde un punto de vista multicriterio, en base del ordenamiento de acuerdo a preferencias. El orden de preferencia que se le asigna a cada alternativa, está en función de los criterios de evaluación, los cuales son características propias de la TA.

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). Yoon (1980) y Hwang y Yoon (1981) desarrollaron 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.

En el proceso de selección por medio de TOPSIS, una alternativa A^k , se considera como un vector en el espacio euclidiano, como se indica en la ecuación (1).

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

Como a cada alternativa corresponde un punto en el espacio n-dimensional (ya que existen n atributos), similarmente, el vector x-ésimo, puede ser analizado como un vector en el espacio K-dimensional dado por la ecuación (2).

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

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

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

De la misma manera, se genera la solución 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:

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

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 solución ideal, Srinivasan y Shocker (1973) y Zeleny (1974); de esta manera la alternativa elegida sería muy semejante a la solución ideal. 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 metodología TOPSIS puede ser resumida de la siguiente manera:

1. Normalizar cada vector X_n de los atributos que son sujetos a evaluación y conviértalos a TX_n 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); 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 atributos se han transformado en vectores unitarios al normalizarse, entonces, cada una de las valoraciones de las alternativas serán convertidas, así como los vectores ideal e anti-ideal, de acuerdo a las ecuaciones (7), (8) y (9).

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

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

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

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 a la alternativa ideal y a la alternativa anti-ideal.

$$\rho(A^k, A^+) = \|w^* (TA^k - TA^+)\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_1^* (t_n^k - t_n^+)^2} \quad (10)$$

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

Donde w representa la ponderación o peso que los expertos en robótica 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).

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

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.

5. Ejemplo de Selección de un Robot

Con el objetivo de ilustrar la aplicación de la técnica TOPSIS, se realiza un ejemplo en el cual el problema de selección consiste en elegir un robot de 6 alternativas posibles, las cuales se denotan por A^1, A^2, A^3, A^4, A^5 y A^6 . La selección se realiza en base a seis criterios, los cuales son X_1 representa el costo del robot (\$), X_2 denota la capacidad de carga (Kg.), X_3 es la velocidad (m/s), X_4 representa el servicio al cliente por parte del proveedor, X_5 indica la flexibilidad de programación y finalmente X_6 representa la integración que tiene este robot con los sistemas ya implantados en la línea de producción.

Este problema tiene fines puramente didácticos, se emplean solamente seis variables de decisión, esto no indica que el modelo planteado sea el idóneo y que represente la totalidad del problema de selección de robots. Cada empresa o institución debe especificar los criterios de evaluación de acuerdo a sus necesidades de proceso o tecnológicas, económicas, estratégicas y sociales. Las primeras tres variables (Costo, Capacidad de Carga y Velocidad) que son analizadas, son cualitativas y su valor es objetivo para los cinco expertos que evalúan los robots, por lo que estos valores deberán ser los mismos para ambos. La tabla 1 muestra los valores de estas variables.

Tabla 1. Valores objetivos

Variables Alternativas	Costo	Capacidad de carga	Velocidad
A ₁	8500	90	1.4
A ₂	4750	85	1.3
A ₃	6300	105	0.9
A ₄	4800	95	1.3
A ₅	7200	98	1.6
A ₆	9400	93	1.9

Los últimas tres variables que se analizan en este problema de selección (servicio al cliente por parte del proveedor, facilidad de programación y facilidad de integración), corresponden a valores subjetivos. Para la estimación de estos valores se recurre a los juicios que emiten 5 expertos en robótica (E_i), los cuales evalúan los criterios de acuerdo a

estimaciones subjetivas en una escala de 1-9; calificando así según su experiencia estas características. La tabla 2 muestra esta información, en la que aparecen los juicios de los cinco expertos para las tres variables y en las últimas columnas se indican los promedios (media aritmética) de cada una de estas variables.

Tabla 2. Valores Subjetivos

Expertos alternativas	E ₁			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			
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

Los valores objetivos y valores subjetivos, constituyen una matriz de valores de decisión final, la cual se forma con las

seis alternativas que son evaluadas y las seis variables de medición. La matriz de decisión final se ilustra en la tabla 3.

Tabla 3. Matriz de Decisión Final

Variables Alternativas	Costo	Capacidad de carga	Velocidad	Calidad del servicio	Facilidad de programación	Integración
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

Los valores de la alternativa ideal A+, corresponden a los valores nominales más deseados dentro de la matriz de valores de decisión final y los valores de A- indican los valores menos deseados. Por ejemplo, el mejor valor del

atributo costo es el menor (\$ 4750, de la alternativa A₂), mientras que el mejor valor del atributo de la velocidad corresponde al más alto (1.9 m/s, de la alternativa A₆); los vectores A+ y A-, son los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Alternativas Ideal e Anti-ideal

Alternativas	Costo	Capacidad de carga	Velocidad	Calidad del servicio	Facilidad de programación	Integración
A ⁺	4750	105	1.9	8.4	7	7
A ⁻	9400	85	0.9	4.2	4.8	5

Se ha solicitado a los 5 expertos en robótica que evalúen la importancia que tiene para ellos cada una de las variables cualitativas y cuantitativas; para ello emiten un juicio en la

escala de 1-9, basándose en sus experiencias. Los valores proporcionados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Ponderación de Variables

Variables Expertos	Costo	Capacidad de carga	Velocidad	Calidad del servicio	Facilidad de programación	Integración
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

En la tabla anterior, cada experto emitió su juicio sobre la importancia que tiene para cada uno de ellos, cada variable de decisión; las estimaciones de los expertos para cada una de las variables, se suma y se obtiene un promedio. Después estos promedios se suman y cada uno de éstos se divide entre

la suma anteriormente obtenida, obteniéndose así un vector cuya suma es la unidad; este proceso es conocido como normalización. Este vector representa los niveles de preferencia o ponderación para cada una de las variables de decisión y se denota por W.

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

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.

Tabla 6. Normalizaciones de las Variables

Variables Alternativa	Costo	Capacidad de carga	Velocidad	Calidad del servicio	Facilidad de programación	Integración
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

La matriz de valores normalizados se multiplica por la ponderación o factor de importancia que tiene cada uno de los criterios de evaluación, **W**; obtenidos en la tabla 5. 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 7. Ponderación de Criterios Normalizados

Criterio Alternativa	Costo	Capacidad de carga	Velocidad	Calidad del servicio	Facilidad de programación	Integración
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

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.

Tabla 8. Distancias entre Alternativas

Alternativa	$\rho(A^k, A^+)$	$\rho(A^k, A^-)$	$RC(A^k, A^+)$	Orden
A ₁	0.05732	0.03831	0.59937	5
A ₂	0.04760	0.05398	0.46859	4
A ₃	0.06972	0.03833	0.64524	6
A ₄	0.04286	0.05782	0.42571	2
A ₅	0.03550	0.05443	0.39474	1
A ₆	0.05164	0.06801	0.43156	3

6. Análisis de Resultados y Conclusiones

En la quinta columna de la tabla 8 se indica el orden de preferencia que tienen las alternativas analizadas. De acuerdo al criterio establecido, la alternativa representada por A₅, tiene una relación RC con un valor de 0.39474, la cual es menor a las demás alternativas y debe ser elegida. Se observa además que esta alternativa mantiene la menor distancia a la alternativa ideal -0.03550-, aunque la distancia a la alternativa anti-ideal no es la más lejana -0.05443-, ya que en este caso la alternativa A₆-0.06443-, es superior a ésta.

Si se usa el criterio de Zeleny, en el que se sugiere que se elija la alternativa más cercana a la alternativa ideal A⁺, entonces la alternativa representada por A₅, debe ser elegida; asimismo, si se usa el criterio de elegir la alternativa más lejana a la anti-ideal A⁻, entonces la alternativa A₆ debe ser elegida.

Se concluye que la ventaja de usar TOPSIS en evaluaciones para toma de decisiones, es que se consideran las dos distancias, y que por lo tanto la evaluación es más completa y objetiva.

Referencias

- Al Khalil, M. 2002. *Selecting the appropriate project delivery method using AHP*. International Journal of Project Management. Vol. 20, Issue 6, pp 469-474.
- Al-Harbi, K. 2001. *Application of the AHP in project management*. International Journal of Project Management. Vol. 19, Issue 1, pp 19-27.
- Canada, J. and Sullivan, W. 1990. *Persistent pitfalls and applicable approaches for justification of advanced manufacturing systems*. Engineering Costs and Production Economics. Vol. 18, Issue 3, pp 247-253.
- Chen, S. and Hwang, C. *Fuzz y Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.
- Churchill G. and Surprenant, C. 1982. *An investigation into the determinants of customer satisfaction*. Journal of Marketing Research, No. 19, pp 491-504.

Goh, C. et al 1996. *A revised weighted sum decision model for robot selection.* Computers & Industrial Engineering. Vol. 30, Issue 2, pp 193-199.

Hwang, C. and Yoon, K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey.* Springer-Verlag, Berlin.

Khouja, M. 1995. *The use of data envelopment analysis for technology selection.* Computers and Industrial Engineering. Vol. 28, pp 123-132.

Parkan, C. and Wu, L. 1999. *Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection.* Computers & Industrial Engineering. Vol. 36, Issue 3, pp 503-523.

Sacristán, M. et al. 2003. *View of developing patterns of investment in AMT through empirical taxonomies: new evidence.* Journal of Operations Management. Vol. 21, Issue 5, pp 577-606.

Segelod, E. 2000. *A comparison of managers' perceptions of short-termism in Sweden and the U.S.* International Journal of Production Economics. Vol. 63, Issue 3, pp 243-254.

Small, M. and Chen, I. 1997. *Economic and strategic justification of AMT inferences from industrial practices.* International Journal of Production Economics. Vol. 49, Issue 1, pp 65-75.

Sohal, A. and Millen, A. 1998. *Planning processes for advanced manufacturing technology by large American manufacturers.* Technovation. Vol. 18, Issue 12, pp 741-750.

Srinivasan, V. and Shocker, A. 1973. *Estimating the weights for multiple attributes in a composite criterion using pairwise judgments.* Psychometrika. Vol. 38, pp 473-493.

Suresh, N. and Meredith, J. 1985. *Achieving factory automation through Group Technology principles.* Journal of Operations Management. Vol. 5, Issue 2, pp 151-167.

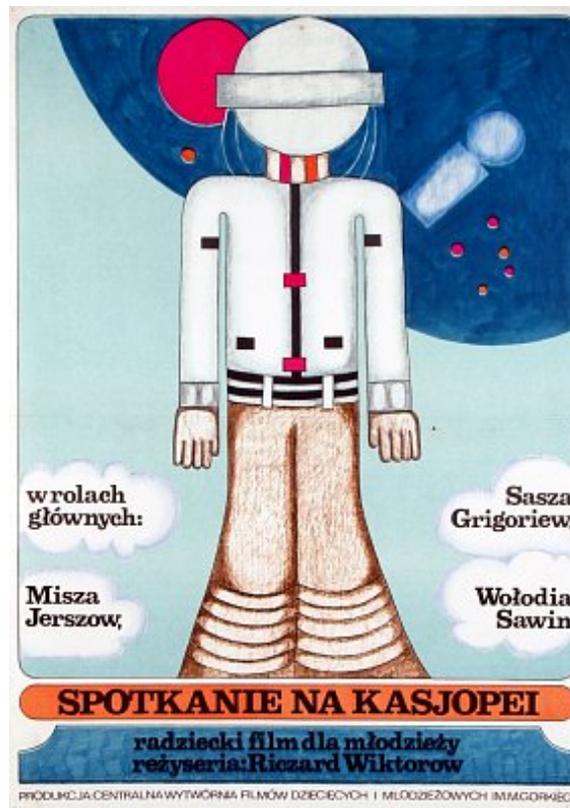
Wilkes, F. and Samuels, J. 1991. *Financial appraisal to support technological investment.* Long Range Planning. Vol. 24, Issue 6, pp 60-66.

Yoon, K. 1980. *Systems Selection by Multiple Attribute Decision Making.* PhD dissertation, Kansas State University, Manhattan.

Yoon, K. and Hwang, C. 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction.* Sage, California.

Yusuff, R. and Hashmib, M. 2001. *A preliminary study on the potential use of the analytical hierarchical process (AHP) to predict advanced manufacturing technology (AMT) implementation.* Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol. 17, Issue 5, pp 421-427.

Zeleny, M. 1974. *Linear Multiobjective Programming.* Springer-Verlag, New York.



MUCHACHOS EN EL UNIVERSO