



Evaluación y Selección de Tractores Agrícolas con Análisis Dimensional

Jorge Luis García Alcaraz¹, Jorge Meza Jiménez², Miguel Escamilla López³ y Ricardo Llamas Cabello⁴

Resumen— En este artículo se presenta un modelo multicriterio y multiatributos para evaluar tractores agrícolas, el cual está basado en la técnica Análisis Dimensional e integra atributos cualitativos y cuantitativos. Para la determinación de los atributos se realizó una encuesta a productores agrícolas y vendedores de maquinaria agrícola obteniéndose un total de dieciséis que podían integrarse en la evaluación. El modelo generado fue aplicado a varios casos de estudio de selección de tractores en el que participaron grupos de decisión y uno de éstos se reporta en este trabajo. Se concluye que el modelo es eficiente, fácil de aplicar y tiene amplia aceptación por parte de productores.

Palabras claves— Modernización agrícola, inversión en tractores, selección multicriterio y multiatributos.

1. Introducción

En la actualidad los estándares de calidad, servicio y costo son muy elevados en los productos y subproductos agrícolas. Éstas características son objetivos estratégicos de las empresas agroindustriales y pequeñas granjas en el Occidente de México, y en lo que a nosotros respecta, en el estado de Colima. Estas pequeñas empresas tienen varias opciones para alcanzar dichos objetivos y mantenerse en el ambiente dinámico de mercado de estos tiempos de globalización (Lazzari y Mazzetto, 1996). Una de las más comunes es la inversión en tecnología avanzada (TA) para implantar en sistemas de producción agrícola y para el procesamiento e industrialización, entre los que se incluyen los tractores.

Sin embargo, frecuentemente, una vez que los directivos de agroindustrias han decidido invertir en TA, éstos se enfrentan a otros tipos de problemas al momento de realizar la selección de ésta, ya que actualmente existen muchas alternativas de solución en el mercado, son muchos los atributos que caracterizan a las TA y existen muchas técnicas de evaluación tecnológica (Lal *et al.*, 1997).

En relación a las diferentes alternativas de compra para los productores agrícolas (PA), en México existen empresas distribuidoras de tecnología extranjera, las cuales ofrecen diferentes ventajas para cada uno de los tipos de relieves y suelo que existen en el país. Uno de los criterios de decisión más fuertes que tiene un productor agrícola al seleccionar una marca cualquiera, son las facilidades de pago y tipos de financiamiento que ofrecen estas distribuidoras.

Se acepta comúnmente que existen dos tipos atributos de evaluación de inversiones en TA. Los primeros se denominan atributos objetivos, los cuales son medidos generalmente en términos numéricos y representan características de costos e ingeniería de la tecnología evaluada. Un claro ejemplo de este tipo de atributos es el costo, consumo de energéticos (diesel y lubricantes). Los segundos atributos son denominados subjetivos y para su determinación se requiere de juicios de personas expertas en el área, quienes valoran mediante juicios basados en su experiencia la contribución de las alternativas con respecto a los atributos en evaluación en base a una escala Likert

¹ Jorge Luis García Alcaraz Dr es profesor investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. jorge.garcia@uacj.mx (autor corresponsal)

² Jorge Meza Jiménez Dr es profesor investigador del Instituto Tecnológico de Colima jmezaj@hotmail.com

³ Miguel Escamilla López MC es profesor del Instituto Tecnológico de Colima melitc2000@hotmail.com

⁴ Ricardo Llamas Cabello MA es profesor del Instituto Tecnológico de Colima rlamas56@hotmail.com



(Parkan y Wu, 1999; Braglia y Gabbrielli, 2000). Algunos de los atributos más importantes de este tipo son los relacionados con la calidad del servicio postventa y la seguridad ofrecida al operador, entre otros.

Con respecto a las técnicas de evaluación de tecnología, éstas se dividen en económicas, estratégicas y analíticas (Chan *et al.*, 2001). Las técnicas económicas (TE) representan la práctica industrial y agrícola, sin embargo son ampliamente criticadas por muchos autores por no integrar aspectos cualitativos en el análisis y sus modelos son calificados como ineficientes y reduccionistas, ya que no representan la totalidad del problema de inversión y selección de tecnología. Algunos ejemplos de estas técnicas son el Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), Periodo de Retorno y Análisis Costo/Beneficio. Las técnicas estratégicas (TS) están basadas en los objetivos y misión de la empresa; sin embargo, son criticadas por no integrar aspectos económicos en la evaluación.

Finalmente, las técnicas analíticas son poco conocidas, pero tienen la ventaja de poder integrar en la evaluación aspectos económicos, estratégicos, sociales y tecnológicos, por lo que se recomienda ampliamente su uso debido al aspecto integrador que éstas tienen. Algunas de estas técnicas son el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*), Análisis Dimensional (AD), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) y el Modelo Lineal Aditivo (MLA). Además, las técnicas analíticas permiten que sea un grupo de personas quienes tomen la decisión, por lo que se llaman multicriterio, y a la vez analizan simultáneamente varios atributos, por lo que se denominan multiatributo. Las aplicaciones industriales de estas técnicas en la evaluación de tecnología es ampliamente reportada en la literatura. Por ejemplo, se ha propuesto una metodología económica que incorpora varios costos en la evaluación de robots (Knott y Gretto, 1982). Otros han empleado métodos auxiliados por computadora para justificar manipuladores industriales (Wei *et al.*, 1992, Offodile *et al.*, 1997). Se han propuesto técnicas de programación por metas para selección de tecnología (Imany y Schlesinger, 1989). Se ha desarrollado un sistema experto para la selección y evaluación de robots (Boubekri *et al.*, 1991). También se han propuesto modelos multicriterio basados en TOPSIS para evaluar un robot (García *et al.*, 2005a, García *et al.*, 2005b).

Las aplicaciones de técnicas cuantitativas en la evaluación de TA aplicada a la agricultura, son muchas y con diferentes enfoques. Por ejemplo, se han realizado simulaciones estocásticas para evaluar maquinaria trituradora de forraje (Russell *et al.* 1983). Se ha generado una ecuación para inversiones en maquinaria basado en la disposición de terreno e infraestructura (Elhorst, 1993). Otros han propuesto un modelo no lineal para determinar el límite de la inversión en procesos de mecanización agrícola (Sogaard y Sorensen, 2004). Finalmente, se ha propuesto un modelo de programación lineal entera mixta para evaluación de maquinaria agrícola (Camarena *et al.*, 2004). Sin embargo, las evaluaciones anteriores hacen uso solamente de factores cuantitativos, ignorando características de tipo cualitativo de la tecnología avanzada en agricultura (TAA).

De la misma manera, la aplicación de técnicas multiatributos en procesos de evaluación y selección de tecnologías en agricultura es ampliamente reportada en la literatura. Por ejemplo, se ha realizado un análisis del impacto de las políticas del uso de agua en la agricultura con un enfoque multiatributos y programación lineal (Bartolini, 2007), se han realizado estudios con un enfoque multicriterio para analizar la aversión al riesgo de inversiones en agricultura (Gómez-Limón y Manuel Ariaza, 2003) y se ha desarrollado un modelo para evaluación de diseños de sistemas de irrigación (Bazzani, 2005).

En base a lo anteriormente señalado y a los diferentes enfoques con que ha sido abordado la cuestión de inversiones en tecnología agrícola, se puede decir que éste es un problema complejo, no definido o estructurado y que los enfoques tradicionales (cuantitativos, generalmente) consideran en el análisis solamente aspectos operativos y económicos, por lo que se requiere de modelos que integren ambos tipos de atributos, integren la opinión de varias personas en el proceso de evaluación y sean sencillos de aplicar. En este artículo se presenta un modelo multicriterio y multiatributos que fue aplicado a varios casos de estudio en el que se integran atributos cualitativos y cuantitativos; uno de los cuales se reporta en este trabajo.

2. Metodología

Para la evaluación objetiva de TAA se procedió a diseñar un cuestionario con la finalidad de identificar los atributos que caracterizan a los tractores agrícolas (TA), el cual fue aplicado a PAs y vendedores de maquinaria agrícola. El cuestionario constó de veinte atributos que fueron obtenidos de reportes de literatura y fue validado por docentes expertos en el tema, los PAs y vendedores de maquinaria. Los atributos comprendían cinco dimensiones genéricas de características del tractor agrícola, las cuales se subdividían en otros más específicos.

El cuestionario se aplicó a una muestra de 238 productores agrícolas y 15 agentes de ventas de tecnologías agrícolas del estado de Colima, México. Se buscaba determinar los niveles de importancia que los encuestados asignaban a cada uno de los atributos al realizar una inversión en TA. Se usó una escala Likert entre 1 y 9, donde el 1 representaba una importancia nula del atributo y el 9, la importancia extrema al momento de realizar la compra.



Para la encuesta aplicada a los PA, se acudió a diferentes dependencias gubernamentales en las que se realizan algún tipo de trámites, tales como SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), SEDER (Secretaría de Desarrollo Rural). Se realizó el llenado del cuestionario con ayuda del encuestador. Para el caso de los vendedores de TAA, se acudió a las direcciones físicas de los establecimientos comerciales de éstos y se dieron las instrucciones de llenado, regresando dos días después por el mismo, dado que la mayoría son personas con múltiples ocupaciones y se buscó no interferir demasiado su trabajo.

La información obtenida de los cuestionarios fue capturada para su análisis en el software estadístico denominado SPSS 18 y dado que se tenían 20 atributos, se buscó reducir la cantidad de éstos, por lo que se realizó un análisis descriptivo de los datos, obteniéndose la media como medida de tendencia central y la desviación estándar como medida de dispersión. Lógicamente los atributos con mayor media debían ser más importantes.

Con los atributos obtenidos, éstos se presentaban a los agricultores para que ellos decidieran cuales eran más importantes para su caso o problemática particular. Existieron grupos de decisión en casos de estudio en que se analizaron cinco atributos, pero otros han llegado a analizar hasta doce de éstos.

2.1 Enfoque matricial para toma de decisiones

Supóngase de manera genérica que J atributos objetivos y L atributos subjetivos se han identificado en relación con el problema de selección de k alternativas de tractores. Los J atributos objetivos son denotados por X_1, X_2, \dots, X_J , y los L atributos subjetivos se identifican por $X_{J+1}, X_{J+2}, \dots, X_{J+L}$ (Parkan y Wu, 1999). Los valores de los atributos objetivos para el proceso de selección son generalmente proporcionados por el fabricante de la TAA. Esos valores generan una matriz de valores objetivos (VO) y están representados en la ecuación (1).

Los valores de los atributos subjetivos para la selección de la (TAA) son obtenidos por calificaciones emitidas por el grupo de decisión. Supóngase que P (PA) conocedores de la (TAA) son quienes realizarán la compra del nuevo tractor, por lo que ellos deben calificar las k alternativas con respecto a cada uno de los atributos subjetivos. Estos (PA) conforman el grupo de decisión (GD). Se sugiere que los P elementos del (GD) valoren la aportación de la alternativa respecto a los J atributos subjetivos mediante un número entero entre un mínimo y un máximo, usando una escala Likert con valores entre uno y nueve; el uno representa la ausencia del atributo en la alternativa y el nueve la excelencia. Una matriz de valores subjetivos (VS) es construida por cada integrante, tal como se indica en (2) (García *et al.*, 2005^a).

$$VO = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_1 & X^1_2 & \cdot & \cdot & X^1_J \\ X^2_1 & X^2_2 & \cdot & \cdot & X^2_J \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X^k_1 & X^k_2 & \cdot & \cdot & X^k_J \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde X^k_j es el valor del atributo j para la TAA A^k para $k=1, \dots, K$ y $j=1, \dots, J$.

$$VS^p = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_K \end{matrix} \begin{bmatrix} X^{1P}_{J+1} & X^{1P}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{1P}_{J+L} \\ X^{2P}_{J+1} & X^{2P}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{2P}_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X^{KP}_{J+1} & X^{KP}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{KP}_{J+L} \end{bmatrix} \quad \text{para } p=1, 2, \dots, P \quad (2)$$

Las P matrices VS^p que proveen los P integrantes del (GD) se suman término a término, generando una matriz total, en la cual se divide cada uno de sus elementos por el valor P , obteniéndose la media aritmética de cada elemento. Ésta representa el juicio promedio con que se ha calificado a una alternativa en relación a un atributo. En tal caso se asume que los P (PAs) son racionales y lógicos en su juicio. Así, la matriz de valores subjetivos total, denominada VST , se determina mediante (3).



Combinando la matriz de valores objetivos y la de valores subjetivos, se construye la matriz de decisión final (MDF) para el problema del proceso de decisión analizado, tal como se ilustra en la ecuación (4).

$$VST = \sum_{p=1}^P VS^p / P = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_K \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_{J+1} & X^1_{J+2} & \cdot & X^1_{J+L} \\ X^2_{J+1} & X^2_{J+2} & \cdot & X^2_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X^K_{J+1} & X^K_{J+2} & \cdot & X^K_{J+L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde $x^k_{J+l} = \frac{\sum_{p=1}^P x^{kp}_{J+l}}{P}$ para $k=1, \dots, K, l=1, \dots, L$ es la calificación promedio de los P expertos para A^k con respecto al atributo subjetivo X_{J+l} .

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A^K \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_1 & \dots & x^1_J & x^1_{J+1} & \dots & x^1_{J+L} \\ x^2_1 & \dots & x^2_J & x^2_{J+1} & \dots & x^2_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x^K_1 & \dots & x^K_J & x^K_{J+1} & \dots & x^K_{J+L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 Análisis Dimensional

Cuando se consideran varios atributos en un proceso de selección de tractores, la dificultad de comparar el rendimiento global se hace evidente. Un tractor genérico, sea "A" por ejemplo, sería fácilmente comparado con otro tractor "B" si el tractor "A" tiene todos los niveles de desempeño en sus atributos mejor (o igual) que los del tractor "B". Sin embargo, la realidad es otra dado que la mayoría de las comparaciones de maquinaria y tractores agrícolas no son tan fáciles de realizar y, en general, sólo algunas ocasiones y en algunos tributos, el tractor "A" será mejor que "B".

Análisis Dimensional (AD) es una técnica que ha sido empleada recientemente en el proceso de toma de decisiones, misma que se describe a continuación. AD es una técnica matemática que de manera sistemática combina varios atributos heterogéneos en un índice adimensional único, y esto es debido a que muy posiblemente los atributos en evaluación estén expresados en unidades o escalas diferentes. Así por ejemplo, el precio del tractor estará expresado en pesos, pero el consumo de combustible en litros por hora de trabajo y aspectos como la seguridad o flexibilidad del mismo, no tienen dimensión y son valores obtenidos en base a la opinión de personas que han usado o manejado dicho tractor. Así, teniendo en cuenta los diferentes atributos a evaluar en n posibles alternativas de tractores a elegir, un enfoque convencional de (AD) requiere una comparación por pares de los tractores, basada en la ecuación (5) (Buckingham, 1941; Bridgman, 1931).

$$AD = \prod_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{Y_i} \right)^{w_i} \quad (5)$$

donde X_i , Y_i y w_i representan los valores para el atributo i para tractor X e Y , y el peso o nivel de importancia asignado al atributo i , respectivamente. Las ponderaciones se basan generalmente en juicios de expertos y debe reflejar la importancia relativa asignada a los atributos de desempeño evaluados. El rango de valores posibles de w_i sólo estará limitado por la capacidad de los elementos del grupo de decisión para distinguir la importancia relativa de los atributos de rendimiento analizados.

Para evitar un análisis basado en muchas comparaciones pareadas, Willis *et al.* (1993) estudiaron un problema de selección de proveedores en un sistema Justo a Tiempo (JIT) y propusieron una versión modificada del modelo que aparece en la ecuación (5), en la que el rendimiento de los atributos de cada alternativa (es decir, el proveedor) se compara con respecto a una alternativa estándar (proveedor ideal). El nuevo índice de rendimiento está dado por la ecuación (6) e indica una medida de semejanza (IS) que tiene cada una de las alternativas en evaluación con respecto a la alternativa ideal.



$$IS = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{S_i} \right)^{w_i}} \quad (6)$$

Donde: S_i representa el valor del atributo i de la alternativa estándar o ideal y $W = \sum_{i=1}^n |w_i|$. El peso puede asumir un valor negativo cuando el atributo correspondiente tiene un efecto negativo para la empresa, tal como lo es el precio del tractor y todos aquellos atributos en los que su valor nominal deseado sea el menor.

Es importante señalar la forma en que fue obtenida la ponderación de cada uno de los atributos. En este caso se usó la técnica de votación y promedios o de asignación directa (Parkan y Wu, 1999, Goh *et al.*, 1996), donde se solicita a los integrantes del grupo de decisión que emitan sus juicios sobre la importancia que tiene para cada uno de ellos los atributos evaluados, mismos que se califican en una escala Likert. Las calificaciones obtenidas por cada uno de los atributos son promediadas, según (7).

$$w_i = \frac{\sum_{R=1}^P O_{iR}}{P} \quad \text{Para } R=1, 2, \dots, P \quad (7)$$

donde:

O_{iR} = Es juicio emitido por el experto R para el atributo i

w_i = Es la ponderación para el atributo i

N = Es el número total de atributos

P = Es el número de expertos que emiten su juicio

3. Resultados: Caso de Estudio

El caso de estudio aquí presentado corresponde a un grupo de productores agrícolas que deseaban adquirir un nuevo tractor y estaba compuesto por cuatro integrantes, los cuales formaron el grupo de decisión. Se les presentó la lista de atributos y decidieron que debían ser analizados el costo inicial del tractor (CI, \$), el costo de mantenimiento anual (CM, \$), los litros de diesel por hora de servicio (DH, lt/hr), costo de refacciones (CR, \$), seguridad para el operador al maniobrar el tractor (SO), facilidad para realizar cambios de implementos en el tractor (FI) y el servicio al cliente postventa por parte del proveedor (SC). Los primeros cuatro atributos son cuantitativos y pueden ser expresados en alguna unidad de medición; sin embargo, los tres últimos son cualitativos y se requirió de la opinión de integrantes del grupo de decisión para determinar sus valores.

Se realizó un rastreo tecnológico y se determinó que solamente cinco alternativas podían ser evaluadas. Cabe mencionar que existían más alternativas que incluían maquinaria que debería ser comprada en el extranjero implicando que los costos de importación rebasarían el presupuesto que se tenía. Las alternativas en lo sucesivo se denotarán como T^1 , T^2 , T^3 , T^4 y T^5 , con la finalidad de evitar el uso y manejo de nombres y marcas comerciales.

Con los atributos identificados, se procedió a la estimación de sus valores. La matriz de valores objetivos se incluye en la Tabla 1, mientras que la obtención de los valores de los atributos subjetivos se ilustra en la Tabla 2, donde aparece la opinión de cada experto en relación a cada atributo y el promedio de las alternativas.

T^k	CI	CM	DH	CR
T^1	268,000	60,000	9	35,000
T^2	375,000	75,000	7	53,500
T^3	342,000	12,000	8	92,500
T^4	285,000	55,000	8.5	75,000
T^5	325,000	45,000	7	45,000

Tabla 1. Matriz de Valores Objetivos



T ^k	SO					FI					SC				
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	Prom	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	Prom	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	Prom
T ¹	8	6	4	9	6.75	7	6	5	7	6.25	4	5	9	8	6.5
T ²	6	7	6	6	6.25	8	7	4	9	7	9	6	3	7	6.25
T ³	8	7	8	7	7.5	7	9	8	4	7	6	4	9	8	6.75
T ⁴	4	6	7	3	5	6	5	8	7	6.5	3	5	7	9	6
T ⁵	7	8	4	4	5.75	8	6	5	7	6.5	5	8	9	6	7

Tabla 2. Estimación de los Valores de Atributos Subjetivos

Así, con los valores objetivos y subjetivos, se obtuvo la matriz de decisión final, tal como se ilustra en la Tabla 3. Obsérvese que se ha agregado en la última fila la alternativa estándar. Así, se observa que un tractor ideal sería aquel que costara solamente 268,000 pesos, que su costo de mantenimiento anual fuera de 12,000, que la cantidad de litros por hora de trabajo normal fuera de 7, que el costo promedio de las refacciones por año fuera de 35,000, que tuviera una calificación de 7.5, 7 y 7 en relación a la seguridad del operador, la flexibilidad para realizar cambios y en el servicio al cliente, respectivamente.

Con los atributos ya determinados, se procedió a estimar el peso o niveles de importancia que tiene cada uno de los atributos y por ello en la Tabla 4 se ilustra dicho proceso. Obsérvese que el promedio de algunos valores es negativo, dado que son atributos que se desea minimizar o que valores muy altos tienen un impacto desfavorable para la empresa. En este caso, la suma de los valores absolutos de los promedios dio un valor de 48, por lo que ese es el valor de W.

T ^k	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC
T ¹	268,000	60,000	9	35,000	6.75	6.25	6.5
T ²	375,000	75,000	7	53,500	6.25	7	6.25
T ³	342,000	12,000	8	92,500	7.5	7	6.75
T ⁴	285,000	55,000	8.5	75,000	5	6.5	6
T ⁵	325,000	45,000	7	45,000	5.75	6.5	7
S	268,000	12,000	7	35,000	7.5	7	7

Tabla 3. Matriz de Decisión Final

E _i	Atributos						
	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC
E ₁	8	8	5	6	7	9	8
E ₂	7	6	8	4	5	7	6
E ₃	6	8	7	6	8	4	9
E ₄	9	6	8	7	5	9	6
Promedio	7.5	7	7	5.75	6.25	7.25	7.25
w _i	-7.5	-7	-7	-5.75	6.25	7.25	7.25

Tabla 4. Estimación de Niveles de Importancia de Atributos

Para la estimación de los índices de semejanza (IS) se usó la ecuación (6), donde se integraron los valores de la matriz de decisión final que aparecen en la Tabla 3 y la ponderación que aparece en la última fila de la Tabla 4. Los resultados de la aplicación de la ecuación (6) aparecen en la Tabla 5, en la que se expone el valor de la razón de cada uno de los atributos en relación a la alternativa estándar y elevada a la potencia de su peso. En la última columna se ilustra el índice de semejanza que tiene cada una de las cinco alternativas en evaluación con respecto a la alternativa estándar; además, entre corchetes aparecen los valores de los índices de preferencia u orden en que debían ser elegidas las alternativas. Lógicamente, la alternativa que debe ser elegida es aquella que tiene un mayor índice de semejanza a la estándar y que en este caso es la alternativa que representa al tractor tres, dado que se asemeja en un 83.57% a la alternativa estándar.



T ^k	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC	IS
T ¹	1.0000	0.0000	0.1722	1.0000	0.5176	0.4397	0.5843	0.7310 [3]
T ²	0.0805	0.0000	1.0000	0.0872	0.3200	1.0000	0.4397	0.6627 [4]
T ³	0.1606	1.0000	0.3927	0.0037	1.0000	1.0000	0.7682	0.8357 [1]
T ⁴	0.6305	0.0000	0.2569	0.0125	0.0793	0.5843	0.3271	0.6450 [5]
T ⁵	0.2354	0.0001	1.0000	0.2357	0.1900	0.5843	1.0000	0.7417 [2]

Tabla 5. Índices de Semejanza

4. Conclusiones y Recomendaciones

En base al trabajo aquí presentado se concluye que la evaluación tecnológica en cualquiera de los ámbitos que se realice, es una actividad muy compleja en estos tiempos de modernidad y globalización, dado que en el mercado se pueden encontrar varias alternativas de compra, las cuales se caracterizan por varios atributos, mismos que frecuentemente se encuentran en conflicto. Así, después de varios casos de aplicar el modelo aquí presentado, se concluye además que cada grupo de decisión, productores agrícolas en este caso, tiene diferentes necesidades y preferencias sobre los atributos, dado que en algunas casos se integraron al modelo cinco atributos, sin embargo, en otros llegaron se integraron hasta doce de los veinte que se tenían a elegir.

Se recomienda ampliamente que al realizar procesos de selección en el que intervengan varios atributos y varias alternativas, se considere a cada uno de estos casos como únicos y que no se tome como patrón a seguir un modelo o metodología. Además, se debe considerar que cada grupo de decisión es único y tiene niveles de preferencia diferentes, relacionadas con sus propias vivencias y necesidades.

Referencias Bibliográficas

- Bartolini, D. "Integrated versus Separated Regulation: An Application to the Water Industry", *Economics Discussion Papers 607*, University of Essex, Department of Economics. Buckingham, E. "On physically similar systems: illustration of the use of dimensional equations", *The Physician Review*, vol.4, pp 345- 376, 1941.
- Bazzani, G. M. "A decision support for an integrated multi-scale analysis of irrigation: DSIRR", *Journal of Environmental Management*, vol. 77, pp 301-314. 2005.
- Boubekri, N.; Sahoui, M.; Lakrib, C. "Development of an expert system for industrial robot selection", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 21, pp 119-127, 1991.
- Braglia, M. y Gabbrielli, R. Dimensional analysis for investment selection in industrial robots", *International Journal of Production Research*, vol.38, No. 18, pp 4843-3448, 2000.
- Bridgman, P.W. *Dimensional Analysis*, 1931 (New Haven: Yale University Press).
- Buckingham, E. "On physically similar systems: illustration of the use of dimensional equations", *The Physician Review*, vol.4, pp 345- 376, 1941.
- Camarena, E. A; Gracia C. y Cabrera, J. M. "A Mixed Integer Linear Programming Machinery Selection Model for Multifarm Systems", *Biosystems Engineering*, vol. 87, No. 2, pp 145-154, 2004.
- Chan, F; Chan, M; Lau C. y Ip, R. "Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review", *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 2, No. 1, pp 35-47, 2001.
- Elhorst, P. "The Estimation of Investment Equations at the Farm Level", *European Review of Agricultural Economics*, vol. 20, No. 2, pp 167-182, 1993.
- García, J. L; Noriega, S; Díaz, J. J. y Sánchez, J. "Evaluación y justificación de Robots: una metodología multicriterio", *Revista Aportes*, vol. 10, No. 30, pp 123-134, 2005a.
- García, J. L; Noriega, S; Díaz, J. J; Rodríguez, M. y Piña, M. "Modelo multicriterio para la justificación de inversiones en robots". *Revista CUICyT*, vol. 2, No. 7, pp 25-34, 2005b.
- Goh, C; Chin, Y; Tung, A. y Chen, C. "A revised weighted sum decision model for robot selection", *Computers Industrial Engineering*, vol. 30, No. 2, pp 193-199, 1996.
- Gómez-Limón, J. A; Manuel Arriaza, L. "An MCDM analysis of agricultural risk aversion", *European Journal of Operational Research*, vol. 151, No. 3, pp 569-585, pp 2003.
- Imany, M. y Schlesinger, R. "Decision models for robot selection: a comparison of ordinary least squares and linear goal programming methods", *Decision Sciences*, vol. 20, pp 40-53, 1989.
- Knott, K. y Gretto, R. 1982. "A model for evaluating alternative robot systems under uncertainty", *International Journal of Production Research*, v.20, pp 155 – 165, 1982.
- Lal, H. J.; Jones, W.; Pearl, R. W.; Shoup, W. D. FARMSYS - A whole-farm machinery management decision support system. *Agricultural Systems*, vol. 38, No. 3, pp 257-273, 1997.
- Lazzari, M. y Mazzetto, F. "A PC model for selecting multicropping farm machinery system", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 14, No. 1, pp 43-59, 1996.
- Boubekri, N; Sahoui, M. y Lakrib, C. "Development of an expert system for industrial robot selection", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 21, pp 119-127, 1991.
- Offodile, O; Lambert, B. y Dudek, R. "Development of a computer aided robot selection procedure (CARSF)", *International Journal of Production Research*, v.25, pp 1109-1121, 1987.
- Parkan, C.; Wu, L. "Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36, No. 3, pp 503-523, 1999.



- Russel, N. P; Milligan, R. A. y Ladue, E. L. "A stochastic simulation model for evaluating forage machinery performance", *Agricultural Systems*, vol. 10, No. 1, pp 39-63, 1983.
- Sogaard, H. T. y Sorensen, C. G. "A Model for Optimal Selection of Machinery Sizes within the Farm Machinery System", *Biosystems Engineering*, vol. 89, No. 1, pp 13-28, 2004.
- Wei, C; Kamrani, A. y Weibe, H. "Animated simulation of the robot process capability", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 23, pp 237-240, 1992.
- Willis, T.H; Huston, C.R. y Pohlkamp, F. "Evaluation measures of just-in-time supplier performance", *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter, 1- 6. 1993.

Jorge Luis García Alcaraz

Ingeniero Industrial y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Colima. Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Sus líneas de investigación son la aplicación de tecnologías a los procesos de producción, estadística industrial y análisis multivariado de problemas. Actualmente se encuentra adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Jorge Meza Jiménez

Ingeniero Industrial Mecánico por el Instituto tecnológico de Cd. Guzmán Jal. Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial, por el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Dr. En Ingeniería por el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial de Querétaro (CIDESI), sus líneas de investigación son diseño y evaluación de productos y procesos agroindustriales, procesos de manufactura, aplicación de análisis estadístico y control de calidad. Actualmente adscrito al departamento de Ingeniería Industrial del I.T.C.

Miguel Escamilla López

Ingeniero Industrial en Planeación y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial, por el Instituto Tecnológico de Colima, sus líneas de investigación son: métodos estadísticos aplicados a el control de Calidad, Ingeniería de calidad de productos y servicios, métodos cuantitativos aplicados a los procesos productivos de agroindustrias. Actualmente se encuentra adscrito al departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Colima como profesor titular.

Ricardo Llamas Cabello

Ingeniero Industrial en Producción, por el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Maestro en Administración por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Sus líneas de Investigación son los sistemas de manufactura de clase mundial, formulación y evaluación de proyectos de inversión, métodos cuantitativos aplicados a los procesos productivos de agroindustrias. Actualmente se encuentra adscrito al departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Colima como profesor titular.

