

# Equipos multidisciplinarios en el diseño de productos de apoyo para personas con discapacidad

## Multidisciplinary teams designing products for aiding disabled people

M<sup>a</sup> C. González-Cruz<sup>1</sup>, Jaime Aguilar-Zambrano<sup>2</sup>, Leonor Córdoba<sup>3</sup>, Cristian Chamorro<sup>4</sup>, Norah Hurtado<sup>5</sup>, Andrés Valencia<sup>6</sup> y Manuel Valencia<sup>7</sup>

### RESUMEN

Se presentan los resultados de la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP para decidir qué clase de productos técnicos de apoyo deben ser diseñados para favorecer la inclusión social de personas en situación de discapacidad. El estudio se realizó en Cali, donde el censo reportó 8.618 casos de discapacidad, con alteración en el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas. Los productos de apoyo están clasificados dentro la Norma UNE-EN ISO9999:2007. La técnica AHP permite plantear y encontrar la solución de problemas con base en varios criterios, alternativas y decisores, manipulando información tanto de tipo tangible como intangible, en forma estructurada y simple. En el estudio participaron tres actores organizacionales: la Universidad, con varias disciplinas, la pequeña empresa y el usuario. Se destaca la presencia de la ingeniería en esta etapa del diseño, puesto que tradicionalmente ha sido relegada a la etapa de materialización del producto con poca interacción con otras disciplinas. La mejor alternativa fue la clase de productos de apoyo para la movilidad personal, con una importancia relativa del 28,6%. Con los resultados se puede afirmar que la participación multidisciplinaria amplía la visión del problema; las disciplinas tienen una parcial incidencia en el peso de los criterios de selección y no existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y de la empresa en este tipo de decisiones.

**Palabras clave:** equipos multidisciplinarios, toma de decisiones multicriterio, AHP, relaciones Universidad- empresa, inclusión social, discapacidad, innovación.

### ABSTRACT

The results of applying the AHP multi-criteria technique are shown to decide which type of product must be designed to favour disabled people's social inclusion. The study was conducted in Cali where the census reported 8,618 cases of impairment involving alteration in body, hand, leg and arm movements. The aid products were classified under UNE-EN-ISO9999-2007 standard. The AHP multi-criteria technique allows stating and finding the solution to decision-making problems with different decision-makers, criteria and alternatives by handling tangible and intangible information in a structured and simple way. Three organisational actors participated in the study: the university (with different disciplines), a small enterprise and a user. It is worth noting the presence of engineering during this design stage since it has traditionally been relegated to the product materialisation stage, having little interaction with the other disciplines. The best alternative favouring social inclusion was the class of products aiding personal mobility (28.6% relative importance). It can thus be concluded that multidisciplinary participation broadens how the problem is viewed, disciplines have a partial effect on weighting selection criteria and there is no alignment in the commercial perception of the university and the enterprise in this type of decision-making.

**Keywords:** multidisciplinary teams, multicriteria decision-making, AHP, university-enterprise relationships, social inclusion, disability, innovation.

Recibido: julio 27 de 2008

Aceptado: septiembre 22 de 2009

### Introducción

El estudio que se despliega en este artículo sugiere un modelo para la selección de una clase de producto que debería ser diseñada por un equipo multidisciplinario para favorecer la inclusión social de personas en situación de discapacidad. La presencia de la ingenie-

ría en las fases iniciales de conceptualización del diseño aporta su visión técnica en el diseño conceptual, puesto que su presencia se ha restringido a la fase de cálculos y manufactura en la fase de materialización, con poca interacción con otras disciplinas. En el artículo se hace inicialmente una breve descripción del método de decisión multicriterio AHP, posteriormente se plantea el modelo general para la solución de este tipo de problemas, y finalmente,

<sup>1</sup> Dr. Ingeniera industrial. Subdirectora de Investigación del Departamento Proyectos de Ingeniería y Directora del Grupo de Investigación La Teoría del Proyecto y sus Aplicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, España. mcgonzal@dpi.upv.es.

<sup>2</sup> Ingeniero eléctrico. M.Sc., en Automática. Grupo Automática y Robótica, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. jaigzam@doctor.upv.es

<sup>3</sup> Psicóloga. Dra. Psicología. Profesora de la Facultad de Psicología, Universidad de La Sabana de Bogotá, Colombia. leocorand@hotmail.com.

<sup>4</sup> Ingeniero mecánico. Grupo Ambiente, seguridad, salud y trabajo, Universidad del Valle, Colombia. cchamorro2@gmail.com.

<sup>5</sup> Terapeuta ocupacional. Máster en Higiene Industrial. Grupo Ambiente, seguridad, salud y trabajo, Universidad del Valle, Colombia. marianorah@gmail.com.

<sup>6</sup> Ingeniero electrónico. Empresa Rehabitec, Cali, Colombia. androsd4@gmail.com.

<sup>7</sup> Ingeniero eléctrico. Grupo de Automática y Robótica, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. mvalencia@puj.edu.co

se muestran los resultados de la aplicación. En el modelo planteado fueron propuestos por el equipo multidisciplinar los criterios de: impacto social, componente tecnológico, funcionalidad, impacto ambiental, característica del producto y viabilidad de comercialización, sugeridos por el grupo de trabajo multidisciplinar tomando como base un concepto general de la inclusión social. Las alternativas del modelo fueron tomadas de la norma UNE-EN ISO 9999:2007 dentro de la sección de clases de productos.

En torno al diseño de productos y de procesos con equipos multidisciplinarios se encuentran trabajos en las empresas con la ingeniería concurrente (Xu, 2007; Haoa, 2006) y el diseño óptimo multidisciplinario (Tovar *et al.*, 2007), pero se detecta una ausencia de análisis con experiencias empíricas que den cuenta de las dinámicas de los grupos participantes en relaciones Universidad-empresa-usuario (Peeters, 2007). Las técnicas de análisis multicriterio se han utilizado en los procesos de conciliación de juicios divergentes con aplicaciones en la educación, la ingeniería y el Gobierno, entre otros (Ho, 2008), pero no existen referencias de su uso en etapas tempranas del diseño conceptual del producto con equipos multidisciplinarios e involucrando a la ingeniería en niveles tempranos del proceso de él. De otra parte, en este estudio se ha aplicado la técnica multicriterio para abordar problemáticas complejas como la de favorecer la inclusión social a través de un producto técnico.

La inclusión social hace referencia al cumplimiento de los derechos y libertades fundamentales de las personas que se encuentran en situación de discapacidad, y la promoción de su propia dignidad (ONU, 2007).

En el estudio participaron, por parte de la Universidad, dos ingenieros, una psicóloga y una terapeuta ocupacional; por parte de la empresa, un ingeniero del área de desarrollo de este tipo de productos; por parte de representación del usuario, un psicólogo en situación de discapacidad. Los resultados obtenidos se han derivado de las siguientes hipótesis: 1. El trabajo con equipos multidisciplinarios permite ampliar la visión del problema; 2. Las disciplinas ejercen una marcada influencia en el análisis del problema; y 3. Existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y la empresa. El estudio hizo uso del *software* Expert Choice para el tratamiento de la información.

## El proceso analítico-jerárquico AHP

Un proceso de decisión multicriterio es el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas para mejorar la efectividad, la eficacia y la eficiencia de los procesos de decisión y para aumentar los conocimientos de éstos. El proceso analítico-jerárquico, AHP, es una metodología que permite trabajar problemas de decisión multicriterio y multiexperto donde la información del problema es de tipo tangible e intangible. La técnica AHP, propuesta por Saaty (1980), se basa en la comparación pareada de criterios y alternativas bajo una formulación jerárquica del problema. El método AHP tiene la ventaja de su fácil comprensión y uso por parte de los expertos que tienen que juzgar los diferentes criterios en una forma simple y sistemática. El *software* de soporte Expert Choice 2000 permite los cálculos y las representaciones gráficas de los resultados para manipularlos en forma fácil y rápida (García *et al.*, 2007).

El empleo de AHP, en cuanto a metodología debe ser: sencilla en su construcción; adaptable a las decisiones individuales y en grupo; consonante con nuestros pensamientos, valores e intuiciones;

orientado a la búsqueda del consenso, y no requerir alta especialización para su aplicación (Moreno, 2002).

Las características de la metodología AHP son las siguientes: utiliza jerarquías, lo cual permite realizar un molde del modelo mental en el prototipo estructurado; en el primer nivel está el objetivo principal; en los siguientes niveles, los criterios de evaluación, y en el último, las alternativas a ser consideradas; AHP utiliza las comparaciones pareadas para incorporar las preferencias de los decisores entre elementos del modelo; implementa la escala fundamental 1, 3, 5, 7 y 9, para integrar los juicios o valoraciones de los decisores; la relación es estrictamente positiva para eliminar ambigüedades del cero y del infinito; se vale del método del autovector principal por la derecha para obtener prioridades locales, el principio de composición jerárquico para calcular las prioridades globales, y una forma lineal multiaditiva para obtener las prioridades totales; permite dentro del proceso de resolución, evaluar la consistencia del decisor a la hora de emitir juicios y por último las prioridades vienen dadas en escala de razón (Moreno, 2002).

Una comparación binaria de un criterio o alternativa  $i$  con un criterio o alternativa  $j$ , se representa como  $a_{ij}$ , y se cumple que:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (1)$$

El proceso de comparaciones pareadas con  $n$  elementos en un nivel de la jerarquía genera una ecuación matricial:

$$[A][a] = n[a] \quad (2)$$

donde  $[A]$  es una matriz cuadrada que contiene el conjunto de comparaciones pareadas  $a_{ij}$  y sus recíprocos con  $a_{ji}=1/a_{ij}$ ,  $n$  es el autovalor dominante de  $[A]$  y  $[a]$  es el autovector asociado que representa los pesos de los criterios o alternativas.

Para un nivel de la jerarquía con  $n$  criterios o alternativas, el número de comparaciones que se deben realizar es:

$$\text{comparaciones} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3)$$

Para un decisor ideal se cumple que:

$$a_{ij} = \frac{a_i}{a_j} \quad (4)$$

La situación real de la comparación pareada, donde no hay consistencias, genera la siguiente ecuación:

$$[R][a] = \lambda_{\max} [a] \quad (5)$$

donde  $[R]$  se denomina una perturbación de  $[A]$  y  $\lambda_{\max}$  es el autovalor dominante en los  $\Re^+$  y  $[a]$  es su autovector.

El coeficiente de inconsistencia se determina como:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (6)$$

En un proceso de evaluación se requiere que la razón de inconsistencia sea menor del 10% para aceptar el cálculo de la matriz de perturbación. La razón de inconsistencia se calcula como:

$$R.I. = \frac{C.I.}{C.I.A} \quad (7)$$

Donde C.I.A es un índice de inconsistencia aleatorio.

## El método del proceso analítico jerárquico AHP

La Figura 1 muestra el método seguido para el uso de AHP en la solución de un problema de selección de alternativas. Para el valor conciliado de los juicios se utiliza la media geométrica.

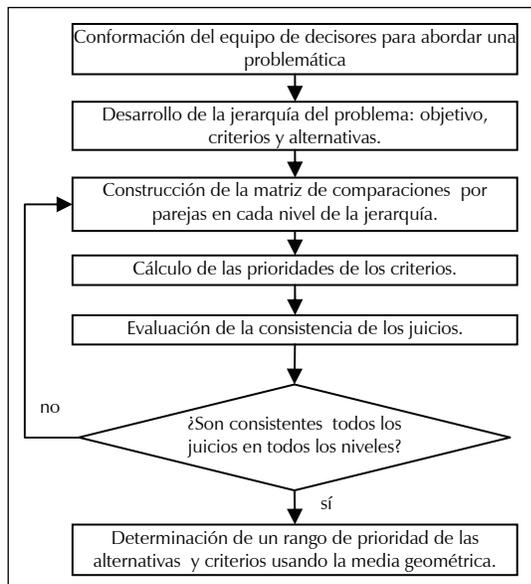


Figura 1. Método para aplicación de AHP. (Fuente: con base en Ho *et al.*, 2008)

## Aplicación de AHP en la selección de una clase de ayuda técnica que debe ser diseñada para favorecer la inclusión social

Siguiendo el método sugerido en la figura 1, se aplicó la técnica AHP para la selección de una clase de producto que debería ser diseñada para personas en situación de discapacidad. El estudio se realizó en la ciudad de Cali, Departamento del Valle del Cauca, Colombia. Las cifras de discapacidad para el Valle del Cauca (DANE, 2007) indican que hay 12.970 personas en situación de discapacidad, con alteración en el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas, correspondiente al 36,4% de la población total en situación de discapacidad en el Valle del Cauca. De las 12.970 personas indicadas, 8.618 viven en Cali, su capital.

### Conformación del equipo de decisores para abordar una problemática

Para la conformación del equipo de trabajo algunos autores sugieren un grupo de expertos de 6 a 12 personas (Aragonés, P. *et al.*, 2001). Dada la característica del problema, se conformó un equipo con la representación de la Universidad, la Empresa y el usuario. Se realizó una convocatoria personal a profesores investigadores de grupos de ingeniería, salud y diseño industrial y a una joven empresa que trabaja en la problemática de discapacidad, y se hicieron contactos con las asociaciones que trabajan con y para la discapacidad. La Tabla 1 muestra los participantes del experimento, con su afiliación investigativa. Adicionalmente, se contó con la participación de dos facilitadores de la técnica en el equipo de trabajo.

Tabla 1. Decisores del estudio con afiliación investigativa y profesión

Decisores (# personas)	Grupo de investigación o actividad	Profesión	Área de trabajo
Ingeniería (1)	Automática y Robótica	Ingeniero eléctrico	Ingeniería
Psicología (1)	Psicología, Salud y Calidad de Vida	Psicología	Psicología
Diseño Industrial (2)	Ergonomía	Ingeniero Mecánico y Terapeuta Ocupacional	Diseño Industrial
Usuario	Usuario	Psicólogo	Fundación
Empresa	Pequeña empresa	Ingeniero Electrónico	Producción y venta de productos

### Desarrollo de la jerarquía del problema: objetivo, criterios y alternativas

El objetivo planteado fue: "Selección de una clase de producto de apoyo para personas con discapacidad que favorezca su inclusión social", el cual se definió con el equipo de trabajo.

Los criterios de primer nivel planteados a partir de un trabajo colectivo fueron: impacto social, componente tecnológico, funcionalidad, impacto ambiental, característica del producto y viabilidad de comercialización. Los criterios de segundo nivel para todos los criterios se muestran en la Figura 2. Así por ejemplo, para el criterio "Características del producto", los subcriterios fueron: seguridad, ergonomía, estética y usabilidad.

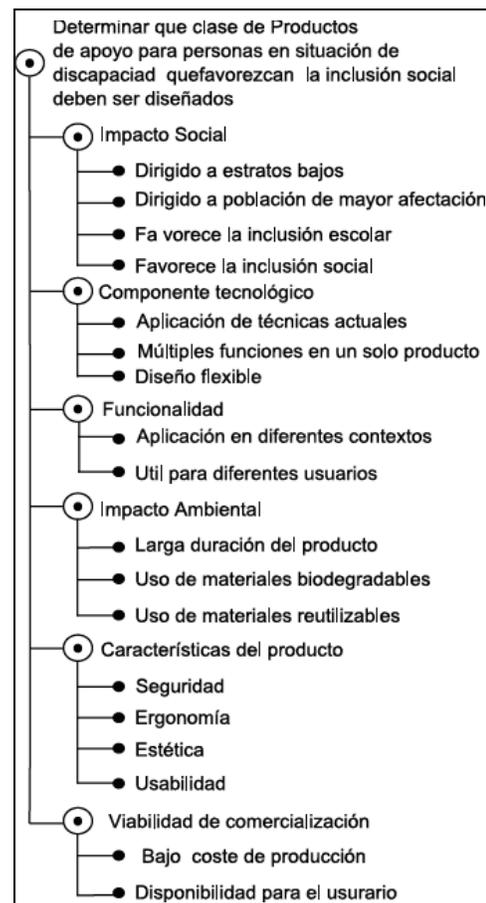


Figura 2. Modelo jerárquico y pesos globales de los criterios para la selección de una clase de producto de apoyo a personas en situación de discapacidad

Las alternativas fueron seleccionadas de la norma UNE-EN ISO 9999:2007 "Productos de apoyo para personas con discapacidad. Clasificación y terminología", donde se define un producto de apoyo como "cualquier producto fabricado especialmente o disponible en el mercado, para prevenir, compensar, controlar, mitigar o neutralizar deficiencias, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación". El equipo de trabajo preseleccionó seis clases de las once que especifica la norma, para ser consideradas como alternativas de diseño. Las clases que se consideraron como alternativas fueron: ortesis y prótesis, productos de apoyo para el cuidado y protección personal, productos de apoyo para la movilidad personal, y productos de apoyo para las actividades domésticas.

### Construcción de la matriz de comparaciones por parejas en cada nivel de la jerarquía

Cada evaluador compara por parejas los criterios sobre la importancia de uno respecto al otro en cada nivel de la jerarquía. Los niveles de preferencia se enuncian en forma semántica y se asocian valores del 1 al 9 de acuerdo a la intensidad de la preferencia. La Tabla 2 muestra un ejemplo de la comparación hecha por uno de los ingenieros para el primer nivel de la jerarquía. Obsérvese que la matriz es simétrica.

Tabla 2. Construcción de la matriz de comparaciones para el primer nivel de la jerarquía de uno de los evaluadores.

	<i>Impacto social</i>	<i>Componente tecnológico</i>	<i>Funcionalidad</i>	<i>Impacto ambiental</i>	<i>Características del producto</i>	<i>Viabilidad de comercialización</i>
Impacto social	1	5	1/3	1	3	3
Componente tecnológico	1/5	1	1/2	1/5	1/2	1
Funcionalidad	3	2	1	1/4	5	4
Impacto ambiental	1	5	4	1	5	6
Características del producto	1/3	2	1/5	1/5	1	1
Viabilidad de comercialización	1/3	1	1/4	1/6	1	1

### Cálculo de las prioridades de los criterios

Para cada nivel de la jerarquía se calculan las prioridades de los criterios mediante el cálculo del vector [a] indicado en la ecuación 5. Por ejemplo, los resultados de los criterios del primer nivel por parte del ingeniero, son: Impacto social 0.204, Componente tecnológico 0.071, Funcionalidad 0.239, Impacto ambiental 0.379, Características del producto 0.051, y Viabilidad de comercialización 0.056. Esto significa que para el ingeniero el impacto ambiental tiene mayor valoración frente al objetivo de selección de este tipo de productos y que las características del producto se ubican en el último lugar. Dichas valoraciones son asociadas únicamente a este evaluador, puesto que las finales se hacen a partir de los resultados de todos los evaluadores a través de la media geométrica.

### Evaluación de la consistencia de los juicios

La consistencia corresponde a la evaluación de la razón de inconsistencia R.I., como se mostró en la ecuación 7, la cual debe ser menor de 0.1. Para el ejemplo que se está ilustrando con el ingeniero, el valor fue de 0.09.

### Determinación de un rango de prioridad de las alternativas y criterios usando la media geométrica

Una vez verificados para todos los evaluadores los niveles de consistencia, se efectúa el cálculo global de las prioridades de los criterios y de las alternativas. El resultado de los cálculos globales se

muestran en la figura 3. Las barras indican los pesos de los criterios, siendo el funcional el más importante, con una valoración del 31,1% y el de más baja importancia fue el componente tecnológico, con el 8,6%. La mejor alternativa seleccionada fue la asociada con los productos de apoyo a la movilidad, con un 28,6% de favorabilidad, seguido por los productos de apoyo para la manipulación de objetos, con un 26,5%. Pese a que porcentualmente la segunda alternativa está muy cerca de la primera, un análisis de sensibilidad mostró que ella no superaría a la primera. Esto permite afirmar que los Productos de apoyo para la movilidad es la elección más adecuada para el diseño.

### Discusión

El análisis multicriterio y multiexperto ha permitido considerar diferentes aspectos asociados a un producto que supera el aspecto puramente técnico de la ingeniería y conciliar diferentes puntos de vista de los tres actores involucrados para trabajar en la consecución del diseño de un producto. Desde el diseño del producto esto significa una ampliación de la visión del problema, como se ha hipotetizado en este estudio.

De los resultados encontrados no se puede afirmar que los pesos de los criterios sean influenciados por la disciplina o función de los actores, sino que atienden principalmente al objetivo del problema. Este resultado permitió desechar la hipótesis de que las disciplinas ejercen una marcada influencia en el análisis del problema. Sin embargo, se observan unos comportamientos particulares en las valoraciones de los criterios dados por las disciplinas que les conceden cierto grado de identidad. Por ejemplo, en diseño industrial hay dos criterios dominantes: la funcionalidad y las características del producto, pero los demás criterios tienen valoraciones homogéneas, como se muestra en la figura 4(a); esta forma de apreciación del problema es indicativo de una visión uniforme del producto por parte de los diseñadores que no es común en las otras disciplinas analizadas. En ingeniería, la funcionalidad y el impacto ambiental son los criterios de mayor valoración, mientras que, el componente tecnológico no obtuvo alta valoración, como podría esperarse que la tuviera (figura 4 (b)).

No existe coincidencia en la evaluación de las alternativas sobre el criterio de oportunidad comercial entre los actores Universidad (disciplinas) y el mercado (empresa y usuario). Para los actores de la Universidad predominan como oportunidad comercial los productos de cuidado y protección principal, en tanto que para el usuario y la pequeña empresa considera los productos de apoyo a la movilidad. Este resultado permite afirmar que no hay una verificación de la tercera hipótesis: *Existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y la empresa*. Este resultado debe ser motivo de reflexión universitaria para evitar que se desarrollen productos bajo una sola mirada universitaria que puede tener bajo impacto en el mercado.

### Conclusiones

Los productos de apoyo para la movilidad personal representan la mejor opción para el diseño de productos desde una mirada multidisciplinaria. Esta clase de productos, dentro de los resultados globales obtenidos en el experimento, presenta la mayor valoración en todos los criterios considerados. La selección de esta alternativa como objeto de diseño plantea retos en los criterios establecidos,

siendo por tal motivo un campo de desarrollo pertinente social, técnico y comercial en el diseño de dicha clase de productos.

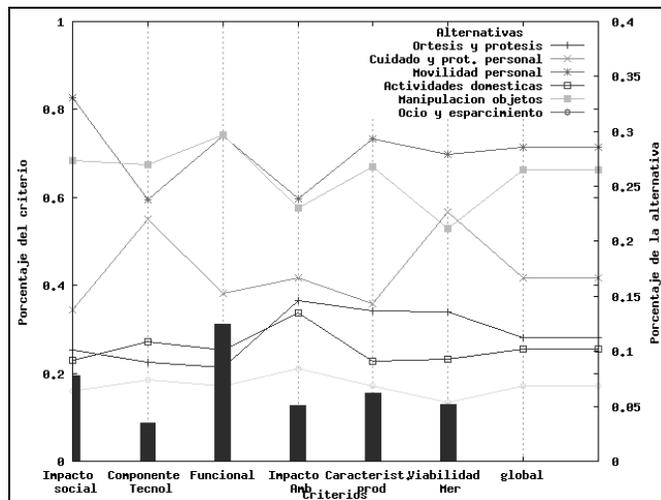


Figura 3. Categorización global de las clases de productos según cada criterio (Fuente: *software Expert Choice*)

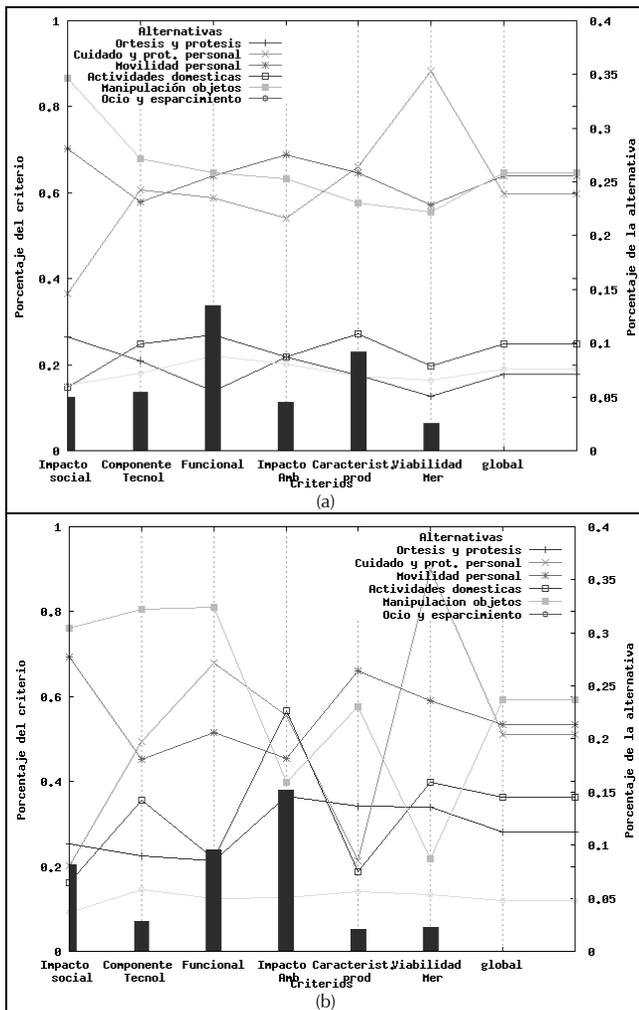


Figura 4. Valoración de criterios y organización de alternativas por decisor: (a) Diseño industrial (b) Ingeniería (Fuente: a partir de simulación con el *software Expert Choice*)

Los problemas que plantea el contexto revelan elementos de interés para actores con diferentes motivaciones, así, la Universidad con la investigación, los usuarios con las necesidades y la empresa con la producción y venta de productos innovadores. En el proceso de diseño se requiere del uso de las técnicas de análisis multicriterio para lograr la conciliación de las diversas motivaciones.

En el análisis de un problema multidisciplinar, las disciplinas aportan variados puntos de vista en el análisis pero no marcan diferencia significativa para la decisión. Sin embargo, por los resultados del experimento hay criterios que pueden caracterizar las profesiones.

La visión del mercado por los actores Universidad, usuario y empresa, a partir del criterio de viabilidad comercial, muestra diferencia entre la Universidad y los otros dos (usuario-empresa). Este resultado, que puede ser entendible por las motivaciones de cada uno de ellos, debe ser motivo de reflexión crítica en los programas universitarios que buscan favorecer el emprendimiento de los estudiantes sobre el tema.

## Agradecimientos

Esta investigación contó con el apoyo del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", Colciencias, Contrato RC No. 652-2008.

## Nomenclatura

[A] Matriz de comparaciones pareadas

[a] Autovector asociado de [A]

[R] Perturbación de [A]

$\lambda_{\max}$  Autovalor dominante en los  $\mathfrak{R}^+$

## Bibliografía

- Aragónes P., Gómez-Senent, E., Pastor, J., Ordering the alternatives of a strategic plan of Valencia (Spain)., *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, Vol. 10, No. 3, 2001, pp. 153-171.
- García, M., Aguilar, J., Aragonés, P., Poveda, R., A methodological proposal to select a new undergraduate curriculum in the design area by using AHP and PROMETHEE multicriteria techniques., *Proceedings of 16th International Conference on Engineering Design. (ICED '07)*. Paris, France, August 2007, pp. 279-280
- Haoa, Q., Shena, W., Zhanga, Z., Parkb, S., Leeb, J., Agent-based collaborative product design engineering: An industrial case study., *Computers in industry*, Vol 57, No. 1, 2006, pp. 26-38.
- Ho, W., Integrated analytic hierarchy process and its applications. A literature review., *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, No. 1, 2008. pp. 211 – 228.
- Moreno, J., El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones en Toma de decisiones con criterios múltiples., 1ª edición, ASEPUMA Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa, 2002.
- ONU, From Exclusion to Equality Realizing the rights of person with disabilities., *Handbook for parliamentarians on the Convention on the Rights of Persons with Disabilities and its Optional Protocol*. Geneva, 2007.

- Peeters, M., van Tuijil, H., Reymen, I., Rutte, C., The development of a design behaviour questionnaire for multidisciplinary teams., *Design Studies*. Vol 28, No.6, 2007, pp. 623-643.
- Rafols, I., Meyer, M., Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarity in bio-nanotechnology., *SPRU Electronic Working Paper Series*. University of Sussex,. 2006. pp. 1-18.
- Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process.*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- Tovar, A., Arzola de la Peña, N., Gómez, A., Técnicas de diseño óptimo multidisciplinario., *Ingeniería e Investigación*, Vol. 27, No.1, 2007, pp. 84-92.
- UNE-EN ISO 9999:2007, *Productos de apoyo para personas con discapacidad.*, Clasificación y terminología, Septiembre, 2007.
- Xu, L., Li, Z., Li, S., Tang, F., A decision support system for product design in concurrent engineering., *Decision Support Systems*, Vol. 42, No. 4, 2007, pp. 2029-2042.