

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume **26**

Número  
Number **1**

Marzo  
March **2005**

*Artículo:*

Selección de un sistema para  
vertebroplastia aplicando un proceso  
analítico jerarquizado

Derechos reservados, Copyright © 2005:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

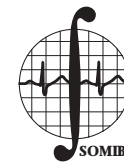
- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com



# Selección de un sistema para vertebroplastia aplicando un proceso analítico jerarquizado

Mario Márquez Miranda,\*  
Roque Ferreyro Irigoyen,\*\*  
Álvaro J. Mendoza Jasso\*

\* Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Ingeniería Industrial.

\*\* Departamento de Imagenología, Hospital ABC-Santa Fe, México, D.F.

Correspondencia:

Mario Márquez Miranda  
Km 2.5, carretera Acatlima-Huajuapán de León, Oaxaca, México.  
mmarquez@mixteco.utm.mx  
alvaromj@mixteco.utm.mx  
rferreyro@abchospital.com

## RESUMEN

En este trabajo, se presenta una aplicación del método de decisión multicriterio conocido como el proceso analítico jerarquizado (PAJ), en la selección de un sistema para vertebroplastia percutánea, con la finalidad de garantizar una solución práctica y adecuada a un problema de ingeniería biomédica. En este proceso se asignan "pesos" relativos a las diferentes acciones que se pueden realizar para resolver un problema, bajo la influencia de criterios objetivos y subjetivos de un conjunto de individuos que influyen en tal decisión; con ello, se puede hacer la recomendación del mejor sistema para vertebroplastia, que permita tomar decisiones con mayor probabilidad de éxito. Tomando en cuenta la importancia de dos problemas complejos, asociados con la vertebroplastia: la capacidad de inyectar un biomaterial, polimetilmetacrilato (PMMA), en el hueso esponjoso vertebral y alejar al operador una distancia adecuada para evitar sobreexposición a radiación ionizante. También, considerando criterios de ergonomía, vida útil y precio.

## Palabras clave:

Método de selección, decisión multicriterio, toma de decisiones, reducción de la radiación, osteoporosis, polimetilmetacrilato.

## ABSTRACT

This work illustrates an application of a multi-criteria decision methodology, known as the Analytical Hierarchy Process (AHP), with the aim of selecting a percutaneous vertebroplasty system, in order to guarantee a suitable and practical solution to a problem in biomedical engineering. This process of AHP is about assigning relative "weights" to those different alternatives when solving a specific problem, this being influenced by objective and subjective criteria, which are originated by the individuals participating in solving the problem; in considering the last, a better solution for a vertebroplasty system is arrived at, allowing to make decisions with high probability of success. Two complex problems related with vertebroplasty are taken into account: on the one hand, the capacity of injecting a biomaterial, the polymethyl-methacrylate (PMMA), in the vertebral spongy bone; on the other hand, to set apart the physician to a safe distance from the system to avoid over-exposure to ionizing radiation. Other criteria like ergonomics, lifetime and price are examined.

## Key Words:

Selection method, multi-criteria decision, decision making, radiation reduction, osteoporosis, polymethyl-methacrylate.

## INTRODUCCIÓN

El sistema para un proceso de vertebroplastia, debe ser cuidadosamente seleccionado, debido a que su diseño debe disminuir el riesgo de exposición del médico a la radiación ionizante, y permitir la aplicación y el control adecuado del volumen de PMMA. Además, en la vertebroplastia se consideran otros factores, como desempeño, inyección a distancia, diseño ergonómico, vida útil y precio. No existe una metodología que involucre todas las variables importantes mencionadas anteriormente, que permita darle el peso exacto de manera objetiva a cada una de ellas, en la selección de un sistema para vertebroplastia. La decisión de usar un sistema u otro, exige un análisis teórico y opiniones prácticas del médico; entonces, la pregunta a contestar es: ¿cómo se elige un sistema óptimo para vertebroplastia? "La toma de decisiones, es un proceso metodológico para determinar el curso de acción que mejor satisfaga los objetivos fijados, con riesgos aceptables"<sup>1,2</sup>. Las técnicas cuantitativas, se basan en construir un modelo de decisión, el cual puede ser de dos tipos: matemático (cantidades) y de simulación (lógica). El punto débil de estas técnicas, es que no incluyen la influencia del factor humano ni en el modelo matemático ni en la simulación. Se considera entonces, que las decisiones cuantitativas son influidas por costumbres, tradiciones, intuiciones, preferencia, prejuicios y gustos. Por lo que los responsables de tomar decisiones, buscan soluciones satisfactorias, en vez de óptimas<sup>3</sup>. En este trabajo, se presenta una alternativa de decisiones multi-criterio, este proceso parte de un objetivo y criterios que condicionan la decisión, estos criterios son multidimensionales, no comparables entre ellos, están en conflicto y sus efectos pueden ser inciertos y de naturaleza cualitativa<sup>4</sup>.

El proceso de decisión aplicado a la ingeniería no está suficientemente maduro, aun cuando hay técnicas muy bien establecidas desde hace algunos años<sup>5</sup>; Scott y Antonsson<sup>6</sup>, señalan que el problema de decisión en ingeniería es un problema que involucra la consideración de múltiples criterios, y mencionan que la función despliegue de calidad (QFD en inglés), el proceso analítico jerarquizado (AHP en inglés), las gráficas de Pugh y la optimización multicriterio, se han empleado para escoger soluciones de diseño que satisfacen un criterio global, el cual es un resultado de la

consideración agregada de parámetros básicos iniciales, objetivos y subjetivos.

La vertebroplastia percutánea, es un procedimiento radiológico intervencionista de mínima invasión, consiste en inyectar PMMA en el cuerpo vertebral, a través de una aguja para biopsia de hueso. El propósito primordial de la vertebroplastia, es eliminar o reducir el dolor, estabilizar el cuerpo vertebral, darle mayor resistencia a la compresión y evitar mayor colapso y al mismo tiempo, permitir la movilización temprana de los pacientes y mejorar su calidad de vida<sup>7</sup>. El objetivo de este trabajo, es seleccionar un sistema biomédico óptimo para vertebroplastia, aplicando un proceso analítico jerarquizado con la finalidad de que el sistema tenga un buen desempeño, inyecte a distancia y reduzca la radiación ionizante, que tenga diseño ergonómico, vida útil larga y precio bajo.

## METODOLOGÍA

El proceso de selección consiste en las siguientes etapas:

*Identificación del problema.* Los médicos eligen sus equipos de acuerdo a los que hay en el mercado, cada proveedor describe las ventajas del sistema que ofrece; pero ellos han identificado un problema muy grave en la vertebroplastia: la exposición del médico a la radiación que proviene directamente del cuerpo del paciente en forma de radiación secundaria y en algunos casos, radiación primaria directamente del tubo de rayos X. Una importante medida de protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto, es mantenerlo alejado a una distancia adecuada de la fuente de radiación, tomando en cuenta que, la energía de la radiación electromagnética, se reduce inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

En resumen, se busca que los sistemas eviten la exposición a la radiación ionizante, que inyecten PMMA en las vértebras, que sean ergonómicos, tengan larga vida útil, que se esterilicen con facilidad y se comercialicen a un bajo precio.

*Dispositivos existentes.* Los sistemas disponibles en el mercado, se describen a continuación: El sistema Osteoject™<sup>8</sup>, necesita 1,422 N de fuerza para inyectar el total de 10 ml de PMMA. No es desechable, libera 0.5 ml, por cada vuelta, tiene un depósito para PMMA de 10 ml, tiene un tubo largo, 381 mm, para alejar al médico de la radiación. Osteoforce™<sup>9</sup>, fácil control manual,



2. Desempeño. Capacidad del sistema para transmitir la fuerza aplicada de manera suficiente, íntegra y discreta, para suministrar el total del PMMA. Además ofrece un control volumétrico preciso del PMMA aplicado. Aplicación del cemento óseo de manera segura y oportuna. Eventualmente pueda usarse en otro procedimiento semejante a la vertebroplastia.
3. Diseño ergonómico. La forma del sistema facilita una sujeción cómoda; tamaño pequeño, (que se pueda manejar con facilidad con las manos) y peso ligero (No provocar fatiga en el médico en 10 minutos). Que facilite el procedimiento de vertebroplastia.
4. Vida útil. Capacidad de esterilizarse y re-usarse, por tiempo o por aplicación.
5. Precio. Consideraciones de precio del sistema en el mercado para realizar la vertebroplastia.

Las alternativas de la decisión, son los cuatro sistemas más comunes disponibles en el mercado:

- a. Osteoject (SpinalSpecialties Inc.)
- b. Sistema MyF o FyM
- c. Osteoforce (Cook Inc.)
- d. EZFlow (Parallax Medical Inc.)

Etapa 2. Efectuar las comparaciones entre los objetivos de la decisión y los criterios de decisión. Se llevan a cabo comparaciones entre los criterios respecto del objetivo de la decisión y entre las alternativas respecto de cada uno de los criterios.

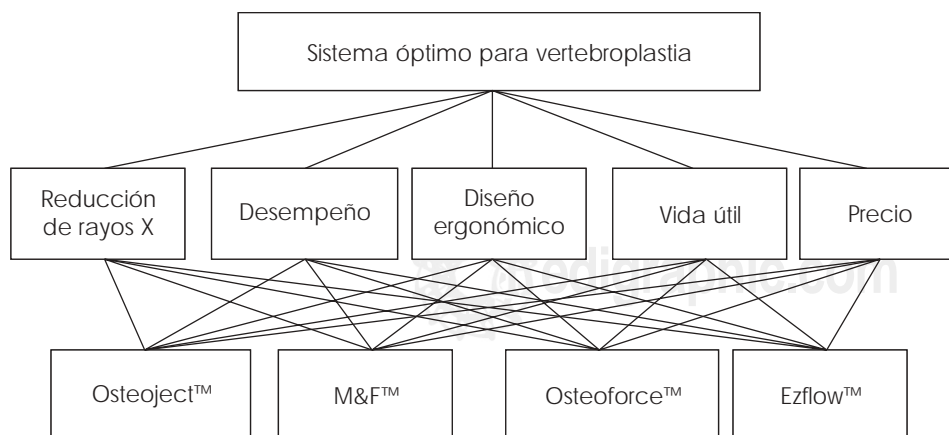
Los pesos asignados en la comparación de criterios se muestran en el Cuadro 1.

El Cuadro 2, muestra el resultado de las evaluaciones de los criterios respecto del objetivo; los renglones y columnas numerados del (1) al (5), representan los cinco criterios de decisión establecidos.

Cada uno de los criterios, se compara con los cuatro restantes y contra él mismo, contestando la pregunta: ¿El criterio (X), es más o es menos importante que el criterio (Y), al escoger el sistema óptimo para vertebroplastia (el objetivo)? Si el criterio (X), se compara con el criterio (Y) como de importancia esencial o fuerte, se le asignará un valor de 5, por lo que al comparar (Y) contra (X) la comparación será el recíproco, es decir, 1/5; si el factor (X) es comparado consigo mismo, el valor será 1 según el Cuadro 1.

Esta comparación entre factores genera una matriz cuadrada, de la cual se obtiene su eigenvector y el máximo eigenvalor  $\lambda_{max}$ . A partir del eigenvector, se determina el vector de prioridad, que indica la prioridad relativa de cada criterio de decisión; en el Cuadro 2, el criterio 2 (Desempeño) tiene el 47.96% como la mayor importancia o prioridad, seguido del criterio 1 (Reducción RX) con 30.19%, criterio 3 (Ergonomía) con 10.63%, y el criterio 5 (Precio) con 7.67% como el menos importante.

Con el fin de asegurar la consistencia y la validez del proceso, se calcula la razón de consistencia CR a partir del índice de consistencia CI, que a su vez involucra el valor  $\lambda_{max}$ .  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ , con  $n =$  número de criterios de decisión de la matriz,  $CR = \frac{CI}{RI}$ ,  $RI <= 0.1$ , es el valor del índice de consistencia aleatorio.



**Figura 2.** Modelo jerarquizado para la selección del mejor sistema biomédico.

El valor de CR, debe ser menor o igual a 0.1<sup>16</sup>; se ha argumentado que éste es un valor asignado arbitrariamente como una medida tentativa<sup>17</sup> y algunos autores aceptan que en la práctica, valores mayores son aceptables<sup>18,19</sup>; el mismo autor Saaty, reporta valores hasta de 0.21. El valor de RI, es una función del tamaño de la matriz

considerada; los valores más comunes se pueden consultar en [16].

El valor de  $\lambda_{\max}$  para el Cuadro 3, es 5.76330, con  $n = 5$ , el valor de CI es 0.1582. Para la matriz cuadrada de orden 5, RI = 1.12, por tanto CR es .1413 ó 14.13%. La matriz es consistente y el vector de prioridad válido.

**Cuadro 1.** Escala de pesos asignados a los criterios de selección, de acuerdo a SAATY<sup>12</sup>.

Pesos asignados a los criterios	Definición	Explicación
1	Igualdad de importancia entre el mismo criterio	Por ejemplo: Reducir la exposición a la radiación vs reducir la exposición a la radiación (Criterio 1 vs Criterio 1)
3	Moderadamente importante	Por ejemplo: El criterio "Desempeño" influye moderadamente sobre el criterio "Reducir la exposición a la radiación" al seleccionar el sistema de vertebroplastia (Criterio 2 vs Criterio 1).
5	Importante (esencial)	Por ejemplo: El criterio "Reducir la exposición a la radiación" influye de manera importante sobre el criterio "Diseño ergonómico" al seleccionar el sistema de vertebroplastia (Criterio 1 vs Criterio 3).
7	Muy importante	Por ejemplo: El criterio "Reducir la exposición a la radiación" influye de manera muy importante sobre el criterio "Precio" al seleccionar el sistema de vertebroplastia (Criterio 1 vs Criterio 5).

**Cuadro 2.** Matriz de comparación del nivel 2 (criterios-criterios).

Criterios de decisión	1	2	3	4	5	Eigenvector principal	Vector de prioridades
1	1	1/3	5	5	7	4.1106	0.3019
2	3	1	5	7	7	6.5296	0.4796
3	1/5	1/5	1	3	3	1.4475	0.1063
4	1/5	1/7	1/3	1	1/5	0.5260	0.0386
5	1/7	1/7	1/3	5	1	1.0	0.0734
$\lambda_{\max} = 5.6330$	CI = 0.1582		CR = 0.1413			$\Sigma = 13.6139$	$\Sigma = 1.00$

**Cuadro 3.** Matriz de comparación de alternativas contra criterio (1) de reducir la exposición a la radiación.

Criterio (1)	Osteoject	MyF	Osteoforce	Ezflow	Eigenvector	Vector de prioridad
Osteoject	1	1/5	3	1/3	0.5718	0.1154
MyF	5	1	7	5	3.0823	0.6223
Osteoforce	1/3	1/7	1	1/3	0.2987	0.0603
Ezflow	3	1/5	3	1	1	0.2019
$\lambda_{\max} = 4.3090$	CI = 0.0760		CR = 0.0844		$\Sigma = 4.9529$	$\Sigma = 1.00$

Los Cuadros 3 a 7, muestran la comparación de las alternativas respecto de cada uno de los criterios. Esta vez, los renglones y columnas contienen las alternativas que podrían satisfacer el objetivo; la pregunta se plantea como ¿la alternativa (X), es más o es menos importante que la alternativa (Y) para el criterio (Z)? El cálculo del eigenvector, el máximo eigenvalor  $\lambda_{\max}$  y CR, se calculan como antes, considerando que ahora las matrices son de orden 4.

Como los Cuadros 3 a 7, muestran valores de CR cercanos al 10%, los vectores de prioridad se consideran válidos.

Etapa 3. Calcular las prioridades globales de las alternativas. En este paso, se lleva a cabo la elección del sistema óptimo para vertebroplastia, utilizando las prioridades globales jerarquizadas como resultado de la evaluación de cada uno

de los criterios, y de la medida en que cada alternativa satisface el requerimiento específico.

El Cuadro 8, muestra las prioridades globales, que indican cuál de las alternativas cumple en mayor medida con los criterios de decisión del objetivo trazado.

## DISCUSIÓN

El PAJ, es un método que podría ayudar a resolver un problema, cuando un grupo de personas influyen en decisiones importantes y están influenciadas por un conjunto de criterios objetivos y subjetivos; con ello se logra una decisión robusta, fundamentada en el análisis estricto del cálculo, en la experiencia y en la opinión de los involucrados en la decisión. El sistema para realizar una vertebroplastia, debe ser cuidadosamente seleccio-

**Cuadro 4.** Matriz de comparación de alternativas contra criterio (2) de desempeño.

Criterio (2)	Osteoject	MyF	Osteoforce	Ezflow	Eigenvector	Vector de prioridad
Osteoject	1	1/5	1	1/3	0.6664	0.0977
MyF	5	1	5	5	2.7071	0.5892
Osteoforce	1	1/5	1	3	1.3615	0.1780
Ezflow	3	1/5	1/3	1	1	0.1349
$\lambda_{\max} = 4.4858$	CI = 0.1619		CR = 0.1799		$\Sigma = 7.4084$	$\Sigma = 1.00$

**Cuadro 5.** Matriz de comparación de alternativas contra criterio (3) de diseño ergonómico.

Criterio (3)	Osteoject	MyF	Osteoforce	Ezflow	Eigenvector	Vector de prioridad
Osteoject	1	1/3	3	3	3	0.2745
MyF	3	1	3	3	5.1961	0.4754
Osteoforce	1/3	1/3	1	3	1.7320	0.1584
Ezflow	1/3	1/3	1/3	1	1	0.0915
$\lambda_{\max} = 4.3094$	CI = 0.1031		CR = 0.1145		$\Sigma = 10.9282$	$\Sigma = 1.00$

**Cuadro 6.** Matriz de comparación de alternativas contra criterio (4) de vida útil.

Criterio (4)	Osteoject	MyF	Osteoforce	Ezflow	Eigenvector	Vector de prioridad
Osteoject	1	1/3	5	3	3.9975	0.2961
MyF	3	1	5	3	7.4377	0.5144
Osteoforce	1/5	1/5	1	3	1.5798	0.1162
Ezflow	1/3	1/5	1/3	1	1	0.0731
$\lambda_{\max} = 4.2835$	CI = 0.0945		CR = 0.1050		$\Sigma = 13.6619$	$\Sigma = 1.00$

**Cuadro 7.** Matriz de comparación de alternativas contra criterio (5) de precio.

Criterio (5)	Osteoject	MyF	Osteoforce	Ezflow	Eigenvector	Vector de prioridad
Osteoject	1	1/5	3	3	1.7320	0.2084
MyF	5	1	5	5	5	0.6017
Osteoforce	1/3	1/5	1	1/3	0.5773	0.0694
Ezflow	1/3	1/5	3	1	1	0.1203
$\lambda_{\text{máx}} = 4.3094$	CI = 0.1031		CR = 0.1145		$\Sigma = 8.3094$	$\Sigma = 1.00$

**Cuadro 8.** Matriz de prioridades globales.

Vector de prioridad de cada criterio (Cuadro 2)		Exp. Rad. (1)	Desempeño (2)	Ergonomía (3)	Vida útil (4)	Precio (5)	Prioridades globales
		0.3019	0.4716	0.1063	0.0386	0.0734	
Vector de prioridad de cada alternativa para cada criterio (Cuadros 3 a 7)	Osteoject	0.1154	0.0977	0.2745	0.2961	0.2084	0.1377
	MyF	0.6223	0.5892	0.4754	0.5144	0.6017	<b>0.5851</b>
	Osteoforce	0.0603	0.1780	0.1584	0.1162	0.0694	0.1300
	Ezflow	0.2019	0.1349	0.0915	0.0731	0.1203	0.1471
							$\Sigma = 1.0$

nado, ya que el proceso de realizarla incluye factores como: riesgo de radiación para el médico, desempeño, ergonomía, vida útil y precio. El equipo seleccionado, a través del PAJ representa garantía de una buena selección. La importancia de esta evaluación, es que se están considerando criterios cuantitativos y cualitativos. Sin embargo, sabemos que existen tantos factores indeterminados en los cuatro sistemas, que es imposible llegar a soluciones exactas.

### CONCLUSIONES

El Cuadro 8, en la columna de las prioridades globales, contundentemente nos muestra que el sistema MyF, es el mejor sistema para vertebroplastia, con un porcentaje de 58.51%, en el segundo lugar quedaría el sistema Ezflow™, con 14.71%. Por lo que recomendamos a los médicos, el uso del sistema MyF para un proceso de vertebroplastia. Para contestar la pregunta, ¿Cómo elegir un sistema de vertebroplastia? La respuesta es, aplicando un proceso analítico jerarquizado, que incluya criterios cuantitativos y cualitativos. El PAJ también, se puede utilizar para resolver otros problemas en ingeniería y en otras áreas, por ejemplo, cuando las decisiones

importantes las tomen personas con criterios cuantitativos y cualitativos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Milano A. Resolución de Problemas y Toma de Decisiones. Ediciones Macchi. 1993.
2. Martin CJ, Whitby M. Application of ALARP to extremity doses for hospital workers. Journal of Radiological Protection. 2003; 23(4): 405-421.
3. Gallagher CA, Watson HJ. Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones en Administración. Mc Graw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., México, 1994.
4. Omann I. How can Multi-criteria Decision Analysis contribute to environmental policy making? A case study on macro-sustainability in Germany. Third International Conference of the European Society for Ecological Economics, Austria, 2000.
5. The National Academic Press. Theoretical Foundations for Decision Making in Engineering Design (en línea). [http://books.nap.edu/books/N1000481/html/R1.html# pagetop](http://books.nap.edu/books/N1000481/html/R1.html#pagetop) (Accesado 29 de Agosto de 2003) 2001.
6. Scott MJ, Antonsson EK. Arrow's Theorem and Engineering Design Decision Making. Research in Engineering Design 2000; 11(4): 212-218.
7. Gold DT. The clinical impact of vertebral fractures: Quality of life in women with osteoporosis. Bone 1996; 18(3): 185S-189S.
8. SpinalSpecialties, inc. [www.spinalspecialties.com/products/?product=74](http://www.spinalspecialties.com/products/?product=74), (Accesado agosto, 2004).



9. Cook Inc. <http://www.cookincorporated.com/products/needles/HPI5Y.html>, Accesado agosto, 2004.
10. Parallax Medical, Inc. [www.parallaxmedical.com/products/bone.htm](http://www.parallaxmedical.com/products/bone.htm). (Accesado agosto, 2004).
11. Márquez MM, Ferreyro IR. Sistema biomédico para vertebroplastia. XXVI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, 2003.
12. Saaty TL. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*. North-Holland, 1990; 48: 9-26.
13. Beynon M. An analysis of distributions of priority values from alternative comparison scales within AHP. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, 2002; 140: 104-117.
14. Ngai EWT. Selection of web sites for online advertising using the AHP. *Information and Management*, Elsevier, 2003; 40: 233-242.
15. Xu S et al. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. *Computers and Operation Research*, Pergamon, 2003; 30: 877-889.
16. Saaty RW. The Analytic Hierarchy Process- What it is and How it is used. *Mathl Modelling*, Pergamon Journals Ltd, 1987; 9(3-5): 161-176.
17. Dodd FJ et al. A statistical Approach to Consistency in AHP. *Mathl. Comput. Modelling*, Pergamon, 1993; 18(6): 19-22.
18. Chu P, Liu J, Kuang-Han. Note on Consistency Ratio. *Mathematical and Computer Modelling*, Pergamon, 2002; 35: 1077-1080.
19. Nyman J. Cost Value Requirements (en línea). Global Tester. <http://www.globaltester.com/sp8/costvalue.html>. (Accesado 26 de agosto de 2003) 2002.