

3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management  
XIII Congreso de Ingeniería de Organización  
Barcelona-Terrassa, September 2nd-4th 2009

## Aplicación de técnicas AHP para la optimización de un modelo de evaluación de la gestión metrológica

Beltrán Sanz, J. <sup>1</sup>, Muñozuri Sanz, J. <sup>2</sup>, Rivas Zapata, M. <sup>3</sup>, Martín Encinas, E. <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Andaluz de Tecnología, C/ Leonardo Da Vinci, 2. 41092 Sevilla (España), beltran@iat.es

<sup>2</sup> Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Av/ Camino de los Descubrimientos s/n. 41092 Sevilla (España), munuzuri@esi.us.es

<sup>3</sup> Instituto Andaluz de Tecnología, C/ Leonardo Da Vinci, 2. 41092 Sevilla (España), rivas@iat.es

<sup>4</sup> Instituto Andaluz de Tecnología, C/ Leonardo Da Vinci, 2. 41092 Sevilla (España), emartin@iat.es

**Palabras clave:** AHP, Gestión Metrológica, Métodos de evaluación

### 1. Introducción

Este trabajo tiene como objetivo aumentar la eficacia y eficiencia de los sistemas de gestión de las mediciones basados en la norma internacional ISO 10012:2003. Existe un modelo de evaluación de la gestión metrológica propuesto en 2006 por Beltrán (2006), que ha sido desarrollado en diversos trabajos de aplicación y análisis experimental recogidos por Beltrán et al. (2007), hasta finalmente su incorporación en la norma UNE 66180:2008. Este modelo se ha basado en una combinación lineal de variables (equivalentes a los elementos que componen los requisitos de un sistema de gestión de las mediciones) que se han supuesto que contribuían con igual fuerza al nivel de madurez global de la gestión metrológica de la organización como se muestra (Figura 1).

$$NMG = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5$$

con

$$X_1 = x_{11}$$

$$X_2 = a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + a_{23}x_{23} + a_{24}x_{24}$$

$$X_3 = a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + a_{33}x_{33} + a_{34}x_{34}$$

$$X_4 = a_{41}x_{41} + a_{42}x_{42} + a_{43}x_{43}$$

$$X_5 = a_{51}x_{51} + a_{52}x_{52} + a_{53}x_{53} + a_{54}x_{54}$$

**Figura 1.** Modelo del sistema de gestión de las mediciones.

Por tanto, el objetivo principal de este trabajo ha sido obtener un modelo ponderado de evaluación de la gestión metrológica que tenga en cuenta la importancia relativa de cada una de las variables y constructos del mismo y su influencia en el resultado global y agregado del modelo (nivel de madurez global).

### 2. Justificación de la técnica

El presente estudio se basa en el **Método de Jerarquías Analíticas** (en adelante AHP – Analytic hierarchy process) Saaty (1980), englobado dentro de los métodos de asignación indirecta. Se trata de un procedimiento de comparación por pares de aspectos, que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de aspectos a ponderar.

Son varios los motivos que **fundamentan la elección de este método**:

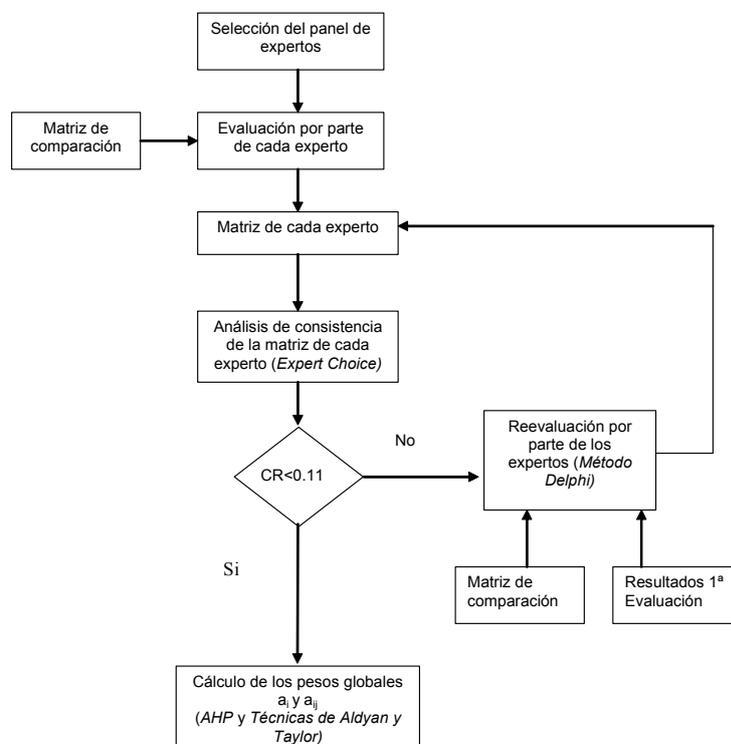
- En primer lugar hay que señalar que aunque la finalidad de los métodos de elección multicriterio es analizar distintas alternativas ante situaciones de decisión definidas a priori, en este trabajo se han utilizado estas técnicas con la finalidad de obtener una ponderación relativa entre las distintas variables del modelo objeto del estudio, aspecto novedoso en la aplicación de estas técnicas.
- De los distintos métodos multicriterio existentes en la bibliografía científica, se ha seleccionado el AHP, ya que es el que mejor se adapta a las necesidades de este estudio.
- Otro de los motivos por los que se ha escogido este método es el hecho de facilitar la labor de los expertos en su trabajo, puesto que permite la posibilidad de contar con distintos paneles de expertos (específicos para cada área objeto de análisis), valorar aspectos más fácilmente comparables entre sí y realizar un análisis inductivo del modelo (que resulta más cómodo para todos los especialistas que toman parte en el proceso de decisión).

Por último, conviene destacar que el AHP proporciona un valor de consistencia de los juicios y valoraciones entre pares de factores que cada experto asigna, con lo que se conoce de manera objetiva la bondad de la distribución de pesos llevada a cabo, pudiéndose actuar en aquellos casos en los que ésta no cumpla con unos requisitos mínimos.

### 3. Metodología de aplicación

#### 3.1. Generalidades

En el siguiente esquema (Figura 2) se representa la metodología de desarrollo seguida en este trabajo:



**Figura 2.** Metodología de desarrollo para el cálculo de pesos.

Tal y como se puede comprobar en la figura anterior, el primer paso, y fundamental por su importancia para la consecución del objetivo del estudio, es la **elección de los distintos paneles de expertos**, que actuarán como decisores, emitiendo sus juicios de valor sobre las comparaciones de pares. Se contará con cinco paneles distintos de expertos, cada uno especializado en la temática (ecuación) objeto de análisis:

- Modelo Global
- Responsabilidad de la Dirección
- Gestión de los Recursos
- Procesos Metrológicos Operativos
- Análisis y Mejora

### 3.2. Análisis de Datos

La metodología seguida para la toma de datos por parte de los expertos ha sido la siguiente: A cada decisor se le ha pasado la matriz de valoración correspondiente a su temática (es posible que un experto participe en más de un área de estudio del trabajo). A continuación se muestra un ejemplo de matriz de comparación (Figura 3):

	Requisitos Generales	Responsabilidad de la Dirección	Gestión de los Recursos	Procesos Metrológicos Operativos	Análisis y Mejora
Requisitos Generales		1/2	1/3	1/9	1/2
Responsabilidad de la Dirección	2		1	1/7	1/5
Gestión de los Recursos	3	1		1/5	3
Procesos Metrológicos Operativos	9	7	5		7
Análisis y Mejora	2	5	1/3	1/7	

**Figura 3.** Ejemplo de matriz de comparación.

En esta matriz cuadrada aparecerán tantas filas y columnas como aspectos a comparar haya, ya sean capítulos o elementos. En ella, el decisor establecerá juicios de valores a través de la escala numérica de Saaty (1980) (tabla 1). Con esta escala se define la correspondencia entre las valoraciones cualitativas (que es el modo de pensar habitual de los decisores cuando realizan las comparaciones) y las asignaciones numéricas correspondientes, que será con las que trabajaremos. Resulta evidente que los valores de esta matriz de comparación han de cumplir que  $c_{ij} = c_{ji}^{-1}$  (matriz simétrica).

**Tabla 1.** Escala numérica de Saaty.

$c_{ij}$ vale	Cuando el aspecto i, al compararlo con j, es
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostrablemente más importante
9	Absolutamente más importante
2, 4, 6 y 8 son valores intermedios	

Una vez realizadas todas las evaluaciones individuales de los expertos del grupo, se hizo un análisis de consistencia de cada una de las matrices de comparación (es decir, de cada experto en cada panel en el que participa).

Uno de los principales problemas de este método es la posible aparición de inconsistencias en los juicios del experto (que podría reflejar, por ejemplo, que el aspecto  $A_1$  es mejor que  $A_2$ , que  $A_2$  es mejor que  $A_3$  y que  $A_3$  es mejor que  $A_1$ ). El AHP mide la inconsistencia a través del uso del cociente de consistencia, CR, que es función de la dimensión de la matriz de comparación ( $n$ ), de un índice aleatorio (RI) y del autovalor dominante ( $\lambda_{max}$ ) como se muestra en (1).

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)RI} \quad (1)$$

Los índices aleatorios (RI) para diferentes tamaños matriciales ( $n$ ) han sido aproximados por Saaty, basándose en experimentos simulados (tabla 2).

**Tabla 2.** - Índices aleatorios (RI) en función del tamaño matricial ( $n$ )

<b>N</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	...

En el presente estudio, se ha considerado el umbral de índice de consistencia en 0,11.

Si se excede este valor limite se procederá a realizar un **nueva evaluación por parte del experto**, realizando una aplicación muy somera del método Delphi como dice Landeta (1999), como de hecho ha ocurrido en este trabajo.

Una vez realizada la revisión de la matriz de comparación por parte del experto se volverá a calcular el índice de consistencia, desestimando aquellos expertos que no hayan conseguido llegar al umbral.

Una vez que las matrices de comparación de cada experto cuente con un valor del citado índice de consistencia CR menor de 0.11, **se calcularán los pesos** de cada experto para cada elemento o apartado del modelo basándose en el método de las Jerarquías Analíticas. (ya sean los  $a_i$  generales o los  $a_{ij}$  particulares), con el soporte informático Expert Choice.

Posteriormente, como dicen Amilia Aldian y Michael A. P. Taylor (2005), se calcularán los pesos de cada ecuación agregados con la puntuación de todos los expertos, otorgando una ponderación a cada experto en función de su proximidad a la media robusta de todos los miembros del panel.

#### 4. Resultados

Una vez finalizada la metodología detallada en los apartados anteriores se obtiene un modelo del sistema de gestión de las mediciones donde las variables que lo forman ya no son equipotenciales y cada una tiene un peso asignado en función de su importancia en el modelo. Se muestran las variables que conforman el modelo con su peso asignado (figura 4).

$$NMG = 0,12X_1 + 0,13X_2 + 0,15X_3 + 0,45X_4 + 0,15X_5$$

con

$$X_1 = x_{11}$$

$$X_2 = 0,10x_{21} + 0,44x_{22} + 0,25x_{23} + 0,21x_{24}$$

$$X_3 = 0,44x_{31} + 0,17x_{32} + 0,28x_{33} + 0,11x_{34}$$

$$X_4 = 0,38x_{41} + 0,30x_{42} + 0,32x_{43}$$

$$X_5 = 0,16x_{51} + 0,43x_{52} + 0,20x_{53} + 0,21x_{54}$$

**Figura 4.** Modelo de Evaluación.

## 5. Conclusiones

Mediante el desarrollo seguido en este trabajo se ha conseguido un modelo de evaluación de los sistemas de gestión de las mediciones donde cada una de las variables que lo configuran tiene un peso en función de la importancia que los expertos han considerado.

Analizando dicho resultado se observa en la función objetivo cómo los expertos consideran los procesos metrológicos operativos, el conjunto de procesos más importantes y que más influyen en el nivel de madurez global de la gestión metrológica (con un 45%), algo esperable puesto que esta variable representa el núcleo central de la ISO 10012:2003, los demás capítulos tienen el mismo peso relativo entre sí.

En la segunda restricción del modelo, se observa claramente cómo el enfoque al cliente es el aspecto que más influye y pesa en los procesos de la Dirección de la gestión metrológica debido a que representa uno de los principios básicos de la calidad.

Analizando los valores de la tercera restricción, la variable gestión de los recursos humanos es el aspecto que más influye y pesa en la gestión de los recursos de los sistemas de gestión de las mediciones es por ello que el personal involucrado en los sistemas de gestión de las mediciones demuestre su aptitud para efectuar las tareas que se les asignen. También es de destacar la ponderación asignada a la variable recursos materiales, necesarios para satisfacer los requisitos metrológicos. Entre las dos variables mencionadas anteriormente representan el 75% del peso del capítulo gestión de los recursos.

Por otro lado, dentro del capítulo más importante (según la ecuación del modelo global), no destaca ninguno de los tres procesos metrológicos operativos como claramente más importante, por lo que las organizaciones deberán abordarlos con semejante intensidad. En la cuarta restricción, no destaca ninguno de los tres procesos metrológicos operativos como claramente más importante, por lo que las organizaciones deberán abordarlos con semejante intensidad.

En la última restricción del modelo, las variables correspondiente a los procesos de auditoría y seguimiento, presentan un elevado índice de importancia frente a los otros aspectos. Esto es debido a la importancia que adquiere el seguimiento y medición (incluida la auditoría) de los procesos de la organización como fuente de información para determinar la adecuación y eficiencia del sistema de gestión de las mediciones

## Acknowledgements

Los autores de este trabajo agradecen la participación activa y las valiosas aportaciones del grupo de expertos que han formado parte del estudio. Asimismo, quieren agradecer al Instituto Andaluz de Tecnología la apuesta firme por aumentar el conocimiento y desarrollo

de los aspectos metrológicos en los sistemas de gestión, así como a la Administración Andaluza por su apoyo financiero a este proyecto de investigación.

### References

ISO 10012:2003 M.M.S.–Requirements for measurement processes and measuring equipment.

UNE 66180:2008 Guía para la gestión y evaluación metrológica.

Beltrán Sanz, J. (2006). Análisis de un modelo de autoevaluación y de un proceso de auditoría de los sistemas de gestión de las mediciones basados en la norma UNE-EN ISO 10012:2003, PhDThesis, UNED. Madrid.

Beltrán Sanz, J., González Gaya, C.,Domingo Navas, R. (2007). Results of the application of an evaluation model and audit process for measurement management systems based on ISO 10012:2003, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> CISIF-MESIC. Madrid.

Beltrán Sanz, J.;González Gaya, C.;Domingo Navas, R. (2007). Results of the application of an evaluation model and audit process for measurement management systems based on ISO 10012 in the framework of the environmental management systems in accordance with ISO 14001. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress Energy and Environmental Engineering and Management. Badajoz.

Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process. McGrawHill.

Aldian A.; Taylor M. (2005). A consistent model to determinate flexible criteria weights for multicriteria transport project evaluation in developing countries, J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp. 3948-3963.

Reza Abdi, M.;Labib, A. (2003). A design strategy for reconfigurable manufacturing systems using analytical hierachical process (AHP): a case study, International J. of Production Research, Vol. 41, pp. 2273-2299.