

# ¿Cómo clasificar titulaciones de ingeniería por su calidad?



María Socorro García-Cásales \*  
María Teresa Lamata-Jiménez \*\*

Dra. Ingeniera Industrial  
Dra. en Ciencias

\* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, Dpto. Electrónica Tecnología de Computadoras y Proyectos. ETS de Ingeniería Industrial, C/ Dr Fleming s/n - 30202 Cartagena.  
Tfno: +34 968 326574. socorro.garcia@upct.es

\*\* UNIVERSIDAD DE GRANADA, Dpto. Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial ETS de Ingenierías Informática y de Telecomunicación, c/ Daniel Saucedo Aranda, s/n - 18071 Granada.  
Tfno: +34 958 240593. mtl@decsai.ugr.es

Recibido: 13/05/2010 • Aceptado: 19/07/2010

## How to classify engineering qualifications for quality?

### ABSTRACT

• In the academic year 2004/2005 the Spanish National Agency for Quality Assessment and Accreditation (ANECA) has established a procedure for evaluating both teaching and institutions by means of the Institutional Assessment Programme. This programme is organized in three stages: Self-Assessment, External Assessment and Plan for improvement. This paper analyzes the external assessment phase for qualifications in the field of Industrial Engineering inside the Spanish University System. To achieve this, we propose a Decision Supports System whose employment may obtain a classifier of qualifications and, in any case, provides information to aid strategic decision making on the institutions involved.

• **Keywords:** Decision Support Systems, Qualifications evaluation, Ranking universities qualifications, European Higher Education Area, Linguistic Labels.

### RESUMEN

En el curso 2004/2005 la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) estableció el procedimiento para la evaluación de enseñanzas e instituciones mediante el Programa de Evaluación Institucional (PEI).

Este programa consta de tres fases: Autoevaluación, Evaluación Externa y Plan de Mejoras. En este artículo se analiza la fase de evaluación externa para las titulaciones en el ámbito de la Ingeniería Industrial dentro del sistema universitario español. Para ello, se propone un Sistema de Ayuda a la Decisión de cuyo empleo se puede obtener un clasificador de las titulaciones y, en cualquier caso, proporciona información para la ayuda a la toma de decisiones estratégicas sobre las instituciones involucradas.

**Palabras clave:** Sistema de ayuda a la decisión, Evaluación de las titulaciones, Ranking de titulaciones universitarias, Espacio Europeo de Educación Superior, Variables lingüísticas.

### 1. INTRODUCCIÓN

La reorganización a escala europea del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), como resultado del Proceso de Bolonia, ha contribuido de manera activa y decisiva a la armonización europea de los aspectos académicos básicos que han permitido, por una parte, una mejor articulación entre las universidades y una mayor movilidad de los estudiantes y del personal docente e investigador y, por otra, una más fácil comparación entre ellas.

Pero, para poder tener una perspectiva homogénea que haga comprensible y exportable la comparación, son necesarios determinados indicadores de funcionamiento. Todo esto nos hace pensar en la necesidad de la existencia de rankings globales de universidades/titulaciones como instrumento para medir la calidad de las universidades y de las titulaciones.

En este contexto los rankings universitarios que hace unos años eran una novedad, son hoy una característica normal en la mayoría de los países. Los rankings se elaboran como una guía para ayudar a los consumidores/usuarios (estudiantes y sus familias, profesores, investigadores, empresas) a elegir Universidad, además de ser indicadores de calidad universitaria (Pérez-Escarpells, 2009).

La gran mayoría de los *rankings* son informes no normalizados y elaborados por entidades comerciales como periódicos y semanarios, un claro ejemplo es el *ranking* del diario *El Mundo* (2009).

La presentación de la información, a veces ponderada, suele hacerse a modo de listas, clasificadas en forma comparativa de acuerdo con un conjunto común de indicadores en orden descendente o ascendente, presentándose habitualmente en forma de “tabla de posiciones”, de mejor a peor o viceversa. También se tiene en cuenta la procedencia de la información pudiendo ser de tipo estadístico y cuantitativo, mientras que en otros casos es de tipo cualitativo. Esto da lugar a que, dependiendo del método de análisis utilizado, una institución aparezca en una u otra posición. Otra cuestión a tener en cuenta, es el intervalo de valoración en el que se muevan las puntuaciones para cada uno de los distintos criterios.

El *Espacio Europeo de Educación Superior* supone no solo un reto, sino también una oportunidad para las titulaciones de ingeniería en el sistema universitario español y, en concreto, para la Ingeniería Industrial (Zamora-Polo, 2009). Es sabido que las titulaciones tendrán que medirse mediante parámetros de calidad con otras titulaciones similares no solo a nivel nacional sino también a nivel europeo.

Los *rankings* sobre la calidad de las universidades más importantes han sido descritos y analizados en distintas publicaciones de las que destacan los trabajos de (Buena-Casals, 2007) y (Docampo, 2008) en España, así como a nivel europeo se encuentran en Inglaterra (Giannoulis, 2009), en Alemania el *ranking* presentado por el Centro para el desarrollo universitario (CHE, 2006) y los más conocidos a nivel internacional ARWU (*Academic Ranking World Universities*) de la Universidad de Jiao Tong en Shanghai (ARWU, 2009), el *Times Higher Education Supplement* (THES, 2009) y en Australia (Marginson, 2007) que hace una comparativa y crítica entre ambos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en nuestro caso se va a trabajar sobre el modelo de acreditación propuesto en España por la *Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación* (ANECA) con objeto de evaluar las distintas titulaciones.

## 2. LA ANECA Y EL PROGRAMA DE EVALUACIÓN INSTITUCIONAL (PEI)

Es en 1988 cuando se establece la primera reunión entre instituciones universitarias para crear un espacio común de educación superior, pero puede considerarse que los inicios se corresponden con la fecha del 25 de mayo de 1998, en la que se reúnen en la Universidad de La Sorbona los Ministros de Educación de Alemania, Francia, Inglaterra e Italia para elaborar una declaración conjunta.

Transcurridos dos años de la *Declaración de Bolonia* y tres de la *Declaración de La Sorbona*, los Ministros de Educación Superior Europeos, representando a 32 países, se

reunieron en Praga para estudiar el desarrollo alcanzado y para establecer direcciones y prioridades del proceso para los años venideros, reafirmando su compromiso con el objetivo de establecer el Área de Educación Superior de Europa para el año 2010<sup>1,2,3,4</sup>.

En la conferencia de Bergen (2005) se expresa la bienvenida a Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Moldavia y Ucrania como nuevos países participantes en el *Proceso de Bolonia*, a estas alturas, casi todos los países europeos habían tomado medidas para aplicar un sistema de garantía de la calidad basado en los criterios acordados en el comunicado de Berlín (2003).

En España se instituye la ANECA que es una fundación estatal creada el 19 de julio de 2002, en cumplimiento de lo establecido en la Ley Orgánica de Universidades (LOU, 2001). Dentro de las actividades de evaluación de la ANECA se encuentra el programa de Evaluación de Enseñanzas e Instituciones y dentro de este se encuentra el *Programa de Evaluación Institucional* (PEI).

El PEI se estableció en el curso 2004/2005 como un procedimiento para la evaluación de enseñanzas e instituciones, que consta de tres fases: Autoevaluación, Evaluación Externa y Plan de Mejoras (ANECA, 2007).

El principal objetivo del PEI es facilitar un proceso para la mejora de la calidad de las enseñanzas conducentes a la obtención de títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, a través de su autodiagnóstico y de la visión externa que “a posteriori” aporten los expertos (ANECA, 2007). Mediante el desarrollo de este programa, se pretende promover procesos de evaluación que favorezcan el establecimiento o la continuidad de procesos de garantía de calidad en las enseñanzas.

De forma más profunda, las tres fases de la evaluación son:

- **Autoevaluación:** se realiza por miembros de la propia Institución a evaluar. La unidad evaluada, a través del Comité de Autoevaluación, describe y valora su situación respecto a los criterios establecidos, identificando inicialmente aquellas propuestas de mejora a partir de las cuales se elaborarán los planes de actuación que deberán ponerse en marcha una vez concluido todo el proceso. El resultado es el “Informe de Autoevaluación”, proporcionado por la propia Universidad/titulación a evaluar.

<sup>1</sup>La Sorbona 1998. Alemania, Francia, Italia, Reino Unido (4)

<sup>2</sup>Bolonia 1999. Austria, Bélgica, Bulgaria, Dinamarca, República Checa, Estonia, Finlandia, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, República Eslovaca, Eslovenia, España, Suecia, Confederación Helvética, (25)

<sup>3</sup>Praga 2001 Croacia, Chipre y Turquía. (3)

<sup>4</sup>Berlín 2003: los ministros deciden aceptar las peticiones de ser miembro de Albania, Andorra, Bosnia y Herzegovina, Holy See, Rusia, Serbia y Montenegro, “the Former Yugoslav Republic of Macedonia” y da la bienvenida a estos estados como nuevos miembros, expandiendo de esta forma el proceso a 40 países europeos

- **Evaluación externa:** se realiza por miembros ajenos a la institución y no necesariamente del ámbito docente. Un grupo de evaluadores externos a la unidad evaluada, nombrados por la ANECA, denominado Comité de Evaluación Externa y bajo las directrices y supervisión de la misma, analiza el Informe de Autoevaluación - tanto a través de un estudio documental como por medio de una visita a la unidad evaluada -, emite sus recomendaciones y propone mejoras. El resultado de esta fase es el "Informe de Evaluación Externa (IEE)". Este trabajo está asociado a ésta parte del PEI, por considerar que los evaluadores externos, aparte de su experiencia, son imparciales y racionales.
- **Plan de Mejoras:** se recogen los principales resultados del proceso de evaluación. En esta fase se lleva a cabo el plan de mejoras de la unidad, en el que se relacionan las acciones de mejora detectadas en la fase de autoevaluación y se determinan las tareas a realizar para la consecución de las mismas, así como, los responsables, los recursos implicados y los plazos para su implantación. Del mismo modo, se identifican los indicadores de seguimiento de las acciones detectadas así como los beneficios esperados de las mismas.

### 2.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PEI

El proceso de evaluación del PEI está basado en 6 criterios (ANECA, 2007). Dichos criterios abarcan los principios de calidad total reconocidos internacionalmente. El análisis de estos criterios ayuda a realizar un diagnóstico de la situación de la enseñanza evaluada. Cada criterio se desglosa en uno o más subcriterios de diferentes niveles. Finalmente se completa con un catálogo de indicadores que sirven para medir el cumplimiento de cada uno de ellos (Tabla 1).

P.F. Programa Formativo

P.E. Plan de Estudios

PDI Personal Docente Investigador

PAS Personal de Administración Servicios

PA Personal Académico.

Dentro del protocolo para elaborar el Informe de Evaluación Externa se observa que su implementación se hace a través de la utilización de las siguientes etiquetas:

A: Excelente

B: Bueno

C: Regular

D: Deficiente

EI: Evidencias Insuficientes

y, no de valoraciones numéricas que suele ser lo más habitual.

CRITERIOS		
1º NIVEL	2º NIVEL	3º NIVEL
1. Programa formativo	1.1. Objetivos del programa	Objetivos del P.F. Perfiles de ingreso
	1.2. Plan de estudios y estructura	Contenido curricular
		Coherencia curricular
		Flexibilidad curricular
		Actualización curricular
		Factibilidad del P.E.
2. Organización de las enseñanzas	2.1. Dirección y Planificación	Planificación
	2.2. Organización y revisión	Comunicación Organización de la enseñanza Acciones de mejora
3. Recursos humanos	3.1. Personal académico	Adecuación PDI Implicación PDI
	3.2. P.A.S.	Adecuación PAS
4. Recursos materiales	4.1. Aulas	Adecuadas nº alumnos
	4.2. Espacios de trabajo	Adecuados nº alumno
		Adecuados PDI y PAS Infraestructuras prácticas
	4.3. Laboratorios y talleres	Adecuado nº alumnos
4.4. Biblioteca y fondos	Acondicionamiento Cantidad, calidad ...	
5. Proceso formativo	5.1. Acceso y formación integral	Captación
		Acogida al alumno
Programa de apoyo		
Orientación profesional		
Acción tutorial		
Formación integral		
5.2. Proceso de enseñanza aprendizaje	Metodología	
	Evaluación	
	Prácticas externas	
	Movilidad	
6. Resultados	6.1. Resultados del programa formativo	Efectividad del P.F. Satisfacción del alumno
	6.2. Resultados de egresados	Cumplimiento del perfil
	6.3. Resultados en el PA	Satisfacción PA
	6.4. Resultados de la sociedad	Empleados y grupos de interés
Vinculación social		

Tabla 1: Estructura de los Criterios del PEI

### 3. LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)

Muchos de los problemas a afrontar son extremadamente complejos por la presencia de varias fuentes de incertidumbre, varios objetivos, metas conflictivas, posibles impactos de las decisiones a largo plazo, etc. Si se intentasen resolver mediante experiencia, intuición o manualmente, los resultados serían posiblemente erróneos (Rios-Insua et al, 2002).

El diseño clásico de un SAD consta de diversas componentes para:

- la administración de datos internos externos, información y conocimiento.
- el desarrollo de funciones potentes.
- el diseño de interfaces de usuario sencillas pero poderosas.

También se compone de varios subsistemas (Shim et al, 2002; Turban et al, 2000) (Figura 1).

- Manejo de datos*: contiene una base de datos con los datos más relevantes para la situación, que se maneja por un sistema gestor de base de datos (SGBD).
- Manejo de modelos*: incluye modelos que proporcionan las capacidades analíticas del sistema, así como el software para su empleo, que suelen llamarse sistema gestor de la base de modelos (SGBM).
- Manejo de conocimiento*: este subsistema está presente en los SAD más avanzados y puede ser tanto un sistema de apoyo a los otros subsistemas como un componente independiente. Contienen un sistema gestor de la base de conocimiento (SGBC), y proporciona funciones inteligentes que complementan la inteligencia propia del decisor.
- Interfaz del usuario*: es el medio a través del cual el usuario puede comunicarse y controlar el SAD. El usuario se considera parte del propio sistema y muchas de las contribuciones hechas en el terreno de los SAD derivan de la interacción entre el ordenador y el decisor.

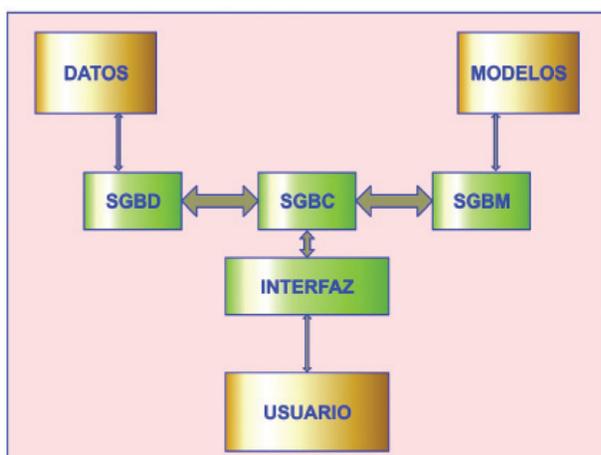


Figura 1: Estructura del SAD.

Así SADRU-II es un prototipo SAD para la evaluación de las titulaciones en el ámbito de la Ingeniería Industrial dentro del sistema universitario español (ANECA, 2006). Está basado en el PEI y en la fase de Evaluación Externa según criterios de ANECA (2007).

#### 3.1. BASE DE DATOS

SADRU-II está compuesto por una estructura de base de datos que ha sido desarrollada en (Microsoft Access®, 2003) y que consta de dos partes:

- Base de datos correspondiente a Informes de Evaluación Externa (IEE), publicados por ANECA para cada una de las universidades y titulaciones a estudio, basadas en el Libro Blanco de Titulaciones de Grado de Ingeniería de la Rama Industrial (ANECA, 2006).
- Base de datos que se obtiene a partir de un cuestionario enviado a los expertos por ANECA y de la que se extraen:
  - Ponderación de los criterios y subcriterios de evaluación.
  - Conjuntos difusos para la definición de las etiquetas.

#### 3.2. BASE DE MODELOS

En ésta, se aplican los distintos métodos de decisión multicriterio para evaluar las alternativas. También recoge los modelos Analytic Hierachy Process (AHP) para obtener los pesos de los criterios/subcriterios y para agregar la información al IEE.

### 4. METODOLOGÍA

Muchas veces, la información de la que se dispone no está definida por un valor numérico, sino que esa valoración es lingüística o cualitativa (A,B,C,D,EI).

La variable lingüística se viene identificando en la literatura con un conjunto difuso (Bellman y Zadeh, 1970; Delgado et al, 1992; Kacprzyk y Yager, 2001). En este artículo se modelizan estas variables lingüísticas en los distintos métodos de decisión multicriterio mediante la utilización de números difusos triangulares. La base teórica así como las operaciones con los números difusos triangulares se describen en (Klir y Yuan, 1995).

#### 4.1. EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

Es una metodología de análisis de decisión multicriterio (Saaty, 1980; Saaty, 1989). Con ella se puede ayudar a los evaluadores a modelar y examinar problemas complejos, evaluando y priorizando las alternativas, así como organizando la información y los juicios usados en la toma

de decisión. En SADRU-II se utiliza para la determinación del peso de los criterios utilizados en IEE.

Se apoya en tres conceptos:

1. La principal característica del modelo AHP es que el problema de decisión se modeliza mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema y en la base se encuentran las posibles alternativas a evaluar.
2. En la segunda etapa se incorporan las preferencias de los actores mediante los juicios que se incluyen en las denominadas matrices de comparación por pares.
3. Finalmente el proceso de priorización y síntesis. Proporciona las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema.

Sean los elementos  $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  del segundo nivel de la jerarquía,  $c_{ij}$  el número que indica la importancia de la opción  $C_i$  respecto a la  $C_j$  cuando el decisor las compara con respecto al objetivo y  $M=[c_{ij}]$  la matriz que contiene los juicios emitidos por el decisor.

El modelo se basa en que  $c_{ji} = 1/c_{ij}$ . Por ello,  $M$  es una matriz recíproca y de tal manera que, si los juicios son perfectos, se tiene que cumplir que  $c_{ik} = c_{ij} \times c_{jk}$ ,  $\forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$ .

$$M = \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Estos valores se obtienen a través de la escala fundamental de (Saaty, 1980) y se mueven en el intervalo  $[1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 8, 9]$ . De tal forma que una valoración  $c_{ij} = 5$  significa que la opción  $C_i$  es más preferida que la  $C_j$ , mientras que  $c_{ji} = 1/5$  indicaría lo contrario.

Esto implica que la matriz  $M$  debe de ser positiva y recíproca con unos en la diagonal principal y, por lo tanto, el decisor solamente necesita proporcionar los valores de los juicios en la triangular superior de la matriz.

Se puede ver que el número de juicios ( $L$ ) necesarios de la matriz son:

$$L = n(n - 1)/2 \quad (2)$$

donde  $n$  es el tamaño de la matriz  $A$ .

En el caso de la utilización de números difusos; por ejemplo, para el caso de  $c_{ij} = 5$ , su difuso podría ser (4,5,6) y su inverso  $c_{ji} = 1/5$  sería (1/6, 1/5, 1/4).

Por ser estas matrices recíprocas se verifica que:

- El máximo valor propio ( $\lambda_{\max}$ ) es un número real y positivo de manera que  $\lambda_{\max} \geq n$ .
- Asociado con este valor propio existe un vector cuyos componentes son también positivos. Si este vector se normaliza se obtiene el vector de pesos asociado con la matriz.

Cuando los valores son difusos, en vez de utilizar como estimador del peso el vector propio, se utilizará como estimador la media geométrica normalizada, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{\left( \prod_{j=1}^n (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^m \left( \prod_{j=1}^n (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \right)^{1/n}} \quad (3)$$

donde,  $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  es un número difuso

Aparte de estas consideraciones, habría que tener en cuenta las cuestiones relativas a la consistencia (Lamata y Pelaez, 2002). El índice de consistencia viene expresado por medio de la ecuación:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

**Ejemplo:**

Consideremos la compra de un coche de nivel medio. Consideraremos como criterios, el precio, la cilindrada y la potencia. Lo primero será encontrar el peso que para nosotros tiene cada uno de los criterios. Para ello, será necesario obtener la opinión del comprador y construir la matriz  $M$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2: Ejemplo matriz AHP

Donde 3 significa que el criterio  $C_i$  es moderadamente más preferido que  $C_j$ . La solución es dada por el autovector con resultado  $w^T = [0.6370, 0.2583, 0.1047]$ .

(Precio=0.6370) > (Cilindrada=0.2583) > (CV=0.1047).

**4.2. MÉTODO TOPSIS**

Es un método de decisión multicriterio para identificar las soluciones de un conjunto finito de alternativas (Hwang y Yoon, 1981). Se basa en que la alternativa elegida debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva y la mayor

distancia a la solución ideal negativa. El vector compuesto por los mejores valores del j-ésimo atributo respecto de todas las alternativas posibles es quien recibe el nombre de “solución ideal positiva”, recíprocamente la “solución ideal negativa” será aquella cuyo vector contenga los peores valores en todos los atributos. Los pasos a seguir para la consecución del ranking que se buscan son:

En el caso de utilizar números difusos, el algoritmo es el mismo adaptándolo a las operaciones con números difusos.

Paso 1: *Construcción de la matriz de decisión* con números difusos, así como la matriz de decisión normalizada asociada. Para ello los valores de cada criterio se dividen por la norma:

$$\bar{n}_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^2}, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Utilizando las operaciones correspondientes para los números difusos, siendo  $\bar{n}_{ij} = (n_{ij}^a, n_{ij}^b, n_{ij}^c)$  otro número difuso.

Paso 2: *Construcción de la matriz ponderada normalizada asociada.*

$$\bar{v}_{ij} = w_j \bar{n}_{ij}, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m, \quad (6)$$

donde  $\bar{v}_{ij} = (v_{ij}^a, v_{ij}^b, v_{ij}^c)$

Paso 3: *Determinación de la solución ideal positiva y la solución ideal negativa, respectivamente.*

$$\bar{A}^+ = \{\bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_n^+\} = \{(\max \bar{v}_{ij}, j \in J), (\min \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad (7)$$

$$\bar{A}^- = \{\bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_n^-\} = \{(\min \bar{v}_{ij}, j \in J), (\max \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad (8)$$

donde  $J$  está asociado con aquellos criterios que indican ganancias o beneficios y  $J'$  está asociado con los criterios que indican pérdidas o costes.

Paso 4: *Cálculo de la separación de cada alternativa* con respecto a la solución ideal positiva y a la solución ideal negativa respectivamente:

$$\bar{d}_i^+ = \left\{ \sum_{j \in J} (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$\bar{d}_i^- = \left\{ \sum_{j \in J} (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (10)$$

en este caso se usa la distancia euclídea.

Paso 5: *Cálculo de la proximidad relativa* de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa mediante el índice de proximidad.

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{d}_i^-}{\bar{d}_i^+ + \bar{d}_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$\text{Si } \bar{R}_i = 1 \rightarrow A_i = \bar{A}^+$$

$$\text{Si } \bar{R}_i = 0 \rightarrow A_i = \bar{A}^-$$

Paso 6: *Establecimiento del orden de preferencias de todas las alternativas de acuerdo al coeficiente de proximidad.*

Obviamente, una alternativa  $A_j$  está más próxima a la  $\bar{A}^+$  y más lejana de  $\bar{A}^-$  cuanto más se aproxima a 1 el índice  $\bar{R}_i$ .

**Ejemplo 2:**

Partimos del ejemplo anterior donde la valoración de los criterios mediante el modelo AHP.

Consideraremos que las valoraciones de los criterios son las siguientes: Precio € [14.000, 24000], cilindrada en cc [1600, 2200] y la potencia en CV [90, 150]. Vemos que estas valoraciones no son comparables - ni en cuanto a la medida ni en el significado -, ya que, por una parte, el precio es tanto mejor cuanto menor sea, y, por otra, los intervalos de valoración no son los mismos. Por tanto, los métodos clásicos como el de la esperanza matemática no serían aplicables.

Por ello, debemos encontrar un modelo alternativo donde las unidades de medida sean las mismas para todos los criterios como es el modelo TOPSIS, ya que un paso de él es el proceso de normalización.

$$M = \begin{matrix} & (0.6370 & 0.2583 & 0.1047) \\ \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 18000 & 1800 & 110 \\ 24000 & 2000 & 132 \\ 20000 & 1800 & 120 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Figura 3: Matriz de decisión

Entonces, al no ser los valores comparables, hay que normalizar ( $n_j$ ) (Tabla 2) y posteriormente hay que multiplicar por el vector de pesos ( $v_j$ ) (Tabla 3).

nA1	0.4992	0.5560	0.5249
nA2	0.6656	0.6178	0.6298
nA3	0.5547	0.5560	0.5726

Tabla 2: Matriz normalizada

vA1	0.3180	0.1435	0.0550
vA2	0.4240	0.1594	0.0659
vA3	0.3533	0.1435	0.0599

Tabla 3: Matriz ponderada

A+	0.3180	0.1594	0.0659
A-	0.4240	0.1435	0.0550

Tabla 4: Solución ideal positiva y negativa

d+A1	0.0194	d-A1	0.1060
d+A2	0.1060	d-A2	0.0194
d+A3	0.0392	d-A3	0.0708

Tabla 5: Distancias

RA1	0.8456
RA2	0.1544
RA3	0.6436

Tabla 6: Proximidad relativa

Siendo de esta manera  $A1 > A3 > A2$ .

En cambio, si los pesos de los criterios hubieran sido  $W^T = [0.2, 0.4, 0.4]$ , entonces el orden final de las alternativas sería  $A2 > A3 > A1$ .

## 5. ENCUESTA ENVIADA A LOS EVALUADORES EXTERNOS

El cuestionario ha sido diseñado y enviado por ANECA a los evaluadores. Se ha realizado en (Microsoft Excel®,

2003), siendo la comunicación con los expertos mediante correo electrónico.

Tiene dos partes: la primera está diseñada para obtener los pesos de los criterios y subcriterios (Tabla 1), utilizando la metodología AHP (Saaty, 1980; Saaty, 1989); la segunda está encaminada a encontrar la regla semántica que asocie un número difuso con cada variable lingüística utilizada en PEI.

### 5.1. VALORACIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

Se ha realizado un estudio de optimización de la encuesta con objeto de hacerla contestable. Dado que se tienen 6 criterios principales de primer nivel, 16 subcriterios de 2º nivel y 37 indicadores de 3º nivel, esto supondría - aplicando la metodología AHP - contestar a 73 preguntas, lo cual es excesivo.

Por ello y dado que la influencia del 3º nivel sobre los pesos de los anteriores niveles es prácticamente nula, se ha considerado una distribución de pesos uniforme para este nivel y se ha procedido de la manera siguiente para el 1º y 2º nivel. En la inicialización del cuestionario se ha preguntado si todos los criterios/subcriterios tenían el mismo peso; si la respuesta era afirmativa se pasaba al siguiente nivel. En caso contrario, si no se tenía el mismo peso, se seguía con la siguiente cuestión (Figura 4) preguntándose por el orden de importancia de los criterios. Finalmente, teniendo en cuenta el orden establecido por el experto en la pregunta anterior y utilizando las etiquetas de Saaty (1980) se han comparado los criterios /subcriterios del mismo nivel.

1. ¿Cree que todos los criterios principales (1. PROGRAMA FORMATIVO, 2. ORGANIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA, 3. RECURSOS HUMANOS, 4. RECURSOS MATERIALES, 5. PROCESO FORMATIVO, 6. RESULTADOS) a la hora de evaluar una titulación tiene el mismo peso?

SI  NO

2. Escriba el orden de importancia que usted cree que debe tener cada uno de los criterios principales

1- Programa Formativo	<input type="radio"/> 1º lugar	<input type="radio"/> 2º lugar	<input checked="" type="radio"/> 3º lugar	<input type="radio"/> 4º lugar	<input type="radio"/> 5º lugar	<input type="radio"/> 6º lugar
2- Organización de la enseñanza	<input checked="" type="radio"/> 1º lugar	<input type="radio"/> 2º lugar	<input type="radio"/> 3º lugar	<input type="radio"/> 4º lugar	<input type="radio"/> 5º lugar	<input type="radio"/> 6º lugar
3- Recursos Humanos	<input type="radio"/> 1º lugar	<input checked="" type="radio"/> 2º lugar	<input type="radio"/> 3º lugar	<input type="radio"/> 4º lugar	<input type="radio"/> 5º lugar	<input type="radio"/> 6º lugar
4- Recursos Materiales	<input type="radio"/> 1º lugar	<input type="radio"/> 2º lugar	<input type="radio"/> 3º lugar	<input type="radio"/> 4º lugar	<input type="radio"/> 5º lugar	<input checked="" type="radio"/> 6º lugar
5- Proceso Formativo	<input type="radio"/> 1º lugar	<input type="radio"/> 2º lugar	<input type="radio"/> 3º lugar	<input checked="" type="radio"/> 4º lugar	<input type="radio"/> 5º lugar	<input type="radio"/> 6º lugar
6- Resultados	<input type="radio"/> 1º lugar	<input type="radio"/> 2º lugar	<input type="radio"/> 3º lugar	<input type="radio"/> 4º lugar	<input checked="" type="radio"/> 5º lugar	<input type="radio"/> 6º lugar

3. Compare el criterio que usted ha considerado en primer lugar con respecto al resto utilizando las siguientes etiquetas:

Organización de la enseñanza --> Programa Formativo	<input checked="" type="radio"/> II	<input type="radio"/> M+I	<input type="radio"/> +I	<input type="radio"/> Mu+I	<input type="radio"/> Ex+I
Organización de la enseñanza --> Recursos Humanos	<input checked="" type="radio"/> II	<input type="radio"/> M+I	<input type="radio"/> +I	<input type="radio"/> Mu+I	<input type="radio"/> Ex+I
Organización de la enseñanza --> Recursos Materiales	<input type="radio"/> II	<input type="radio"/> M+I	<input checked="" type="radio"/> +I	<input type="radio"/> Mu+I	<input type="radio"/> Ex+I
Organización de la enseñanza --> Proceso Formativo	<input type="radio"/> II	<input checked="" type="radio"/> M+I	<input type="radio"/> +I	<input type="radio"/> Mu+I	<input type="radio"/> Ex+I
Organización de la enseñanza --> Resultados	<input type="radio"/> II	<input type="radio"/> M+I	<input checked="" type="radio"/> +I	<input type="radio"/> Mu+I	<input type="radio"/> Ex+I

II: Igualmente importante  
M+I: Moderadamente más importante  
+I: Más importante  
Mu+I: Mucho más importante  
Ex+I: Extremadamente más importante

Seguir

Inicio | 1-2-3 | 4-5-6 | 7-8-9 | 10-11-12 | 13-14-15 | 16-17-18 | 19-20-21 | 22-23-24-25 | RESULTADOS

Figura 4: Ejemplo información experto 1 para preguntas (1,2,3)

Como resultado de estas tres primeras preguntas y para el primer experto, se consiguieron los pesos de los criterios principales (Figura 5) obteniéndose únicamente 21 respuestas.

$$\begin{matrix} PF \\ OE \\ RH \\ RM \\ Pr F \\ R \end{matrix} \begin{bmatrix} (1,1,1) \\ (1,1,1) \\ (1,1,1) \\ (1/6,1/5,1/4) \\ (1/4,1/3,1/2) \\ (1/6,1/5,1/4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0.2500, 0.2679, 0.2791) \\ (0.2500, 0.2679, 0.2791) \\ (0.2500, 0.2679, 0.2791) \\ (0.0417, 0.0536, 0.0698) \\ (0.0625, 0.0893, 0.1395) \\ (0.0417, 0.0536, 0.0698) \end{bmatrix} \\ (3.583, 3.733, 4.000)$$

Figura 5: Obtención de los pesos de los criterios principales para el caso del experto 1 asociados a las respuestas de la Figura 4.

El resto de la encuesta está relacionada de la siguiente forma: las preguntas 4-5-6 son las correspondientes a los subcriterios del Programa Formativos, las preguntas 7-8-9 se refieren a la Organización de la Enseñanza, las 10-11-12 están asociadas a Recursos Humanos, las 13-14-15 a los Recursos Materiales, 16-17-18 al Proceso Formativo y las 19-20-21 a los subcriterios correspondientes a los Resultados.

A partir de esta encuesta se ha sido capaz de generar la matriz completa para cada uno de los expertos verificándose las propiedades de consistencia del método.

### 5.2. RELACIÓN ENTRE LAS ETIQUETAS Y LOS NÚMEROS DIFUSOS

La segunda parte del cuestionario (preguntas 22-23-24-25) se ha basado en la encuesta diseñada para obtener la estimación que sobre las etiquetas lingüísticas perciben los expertos y que en este caso son: A: Excelente, B: Bueno, C: Regular, D: Deficiente. Para la valoración de cada una de estas etiquetas se ha utilizado el intervalo [0, 10] (Figura 6).

22. Defina numéricamente entre [0,10] el valor de la etiqueta semicuantitativa A: Excelente  
9

23. Defina numéricamente entre [0,10] el valor de la etiqueta semicuantitativa B: Bueno  
7

24. Defina numéricamente entre [0,10] el valor de la etiqueta semicuantitativa C: Regular  
4

25. Defina numéricamente entre [0,10] el valor de la etiqueta semicuantitativa D: Deficiente  
2

Figura 6: Ejemplo de pregunta de la segunda parte del cuestionario correspondiente a la definición de las etiquetas de valoración

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. OBTENCIÓN DE LA VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS

El proceso seguido ha sido considerar un proceso primario (Figura 7), teniendo para cada experto una matriz de valoración  $M = (x_{ij}^k)$ ,  $k=1,2,\dots,t$ .

Para conservar la reciprocidad de las matrices y para cumplir las propiedades del modelo AHP se ha utilizado como operador de agregación la media geométrica (3).

Posteriormente se ha calculado el peso de las matrices agregadas difusas por el procedimiento de la media geométrica normalizada, obteniendo de este modo el peso de los criterios y los subcriterios.

Proceso primario para la ponderación general difusa mediante media geométrica					
CRITERIOS					
1 <sup>er</sup> NIVEL	2 <sup>o</sup> NIVEL	3 <sup>er</sup> NIVEL	3 <sup>er</sup> NIVEL	2 <sup>o</sup> NIVEL	1 <sup>er</sup> NIVEL
1. Programa formativo	1.1. Objetivos del programa	Objetivos del P.F.	(3.39, <b>5.26</b> , 8.01)	(6.77, <b>10.52</b> , 16.02)	
		Perfiles de ingreso	(3.39, <b>5.26</b> , 8.01)		
	1.2. Plan de estudios y estructura	Contenido curricular	(1.50, <b>2.32</b> , 3.54)		
		Coherencia curricular	(1.50, <b>2.32</b> , 3.54)		
		Flexibilidad curricular	(1.50, <b>2.32</b> , 3.54)		
		Actualización curricular	(1.50, <b>2.32</b> , 3.54)		
		Factibilidad del P.E.	(1.50, <b>2.32</b> , 3.54)		
			(7.49, <b>11.61</b> , 17.72)	(16.61, <b>22.13</b> , 29.14)	

Tabla 7: Ponderación del criterio programa formativo como proceso primario

Como resultado, en el caso del primer nivel, programa formativo (Figura 4), se ha obtenido la Tabla 7, de forma que éste sobre el total de criterios, tiene un peso de (16.61, 22.13, 29.14). A su vez este criterio para el segundo nivel, presenta dos subcriterios (Tabla 7), donde los pesos han sido (0.4079, 0.4754, 0.5497) para Objetivos del programa y plan de estudios, y (0.4551, 0.5246, 0.6080) para Plan de estudios y estructura. Al realizar la ponderación con el primer nivel se obtienen (6.77, 10.52, 16.02) y (7.49, 11.61, 17.72), respectivamente.

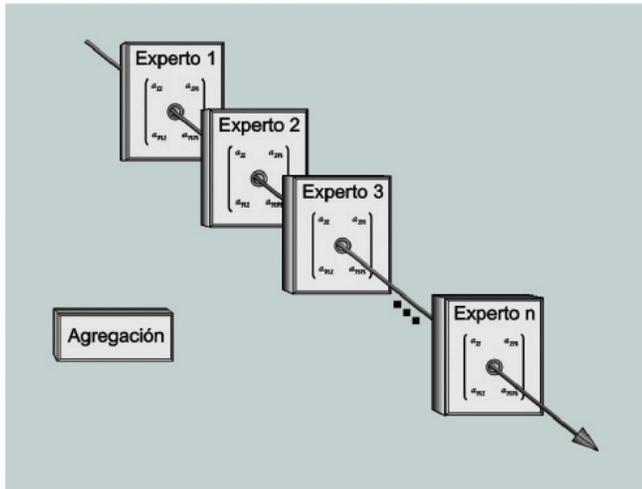


Figura 7: Agregación proceso primario

Para el tercer nivel se ha realizado una distribución de pesos homogénea en función del número de indicadores (Tabla 7).

Actuando de igual forma para los diferentes criterios se obtuvo la Tabla 8.

Criterios de Decisión	Números difusos
1. Programa formativo	(16.61, <b>22.13</b> , 29.14)
2. Organización de las enseñanzas	(11.33, <b>15.10</b> , 20.04)
3. Recursos humanos	(14.44, <b>19.70</b> , 26.70)
4. Recursos materiales	(7.55, <b>9.99</b> , 13.46)
5. Proceso formativo	(11.04, <b>14.90</b> , 20.10)
6. Resultados	(8.54, <b>18.18</b> , 24.75)
<b>TOTAL</b>	<b>(69.51, 100, 135.19)</b>

Tabla 8: Peso de los 6 criterios del PEI

### 6.2. ASIGNACIÓN A CADA TÉRMINO LINGÜÍSTICO DE UN NÚMERO DIFUSO

Es conocida la dificultad de operar directamente con valoraciones cualitativas. Por ello, y como resultado de la encuesta enviada a los expertos, se obtuvo su cuantificación

a través de los números difusos triangulares que en este caso son simétricos (Zadeh, 1965; Zadeh, 1975; Zadeh y Kacprzyk, 1999a; Zadeh y Kacprzyk, 1999b).

Mediante la expresión (12):

$$(a, b, c) = (\bar{X} - t\sigma_x, \bar{X}, \bar{X} + t\sigma_x) \quad (12)$$

Cada etiqueta lingüística (García-Cascales et al, 2008; García-Cascales y Lamata, 2007) tiene una valoración cuantitativa. Siendo  $\bar{X}$  la media aritmética de los valores proporcionados por los expertos,  $\sigma_x$  la desviación típica y  $t = (1, 2, 3)$  una constante. Para el caso que nos ocupa  $t=2$  (Tabla 9).

Etiquetas semicuantitativas	General
A: Excelente	(8.1354, 9.4054, 10.0000)
B: Bueno	(5.8108, 7.1081, 8.4054)
C: Regular	(3.5090, 4.8108, 6.1126)
D: Deficiente	(0.7355, 2.5135, 4.2916)

Tabla 9: Número asociado a las etiquetas lingüísticas

Las etiquetas Excelente, Bueno y Regular (Tabla 9) tienen el mismo comportamiento, ya que para cada una se cumple que  $\sigma_x = 0.65$ , lo que nos da idea de la acuracidad del método, mientras que en la valoración de la etiqueta Deficiente los expertos han sido algo más dispersos, siendo  $\sigma_x = 0.84$ .

### 6.3. MODELO DE DECISIÓN

Con la aplicación de los modelos AHP y TOPSIS de SADRU-II se obtienen los *rankings* en orden ascendente, de peor a mejor, y donde, además, se marcan unos ratios que se corresponden con los niveles de evaluación de la encuesta del Informe de Evaluación Institucional (Figura 8). Asimismo, el sistema permite obtener salidas parciales para cada uno de los 6 criterios principales considerados.

Según se observa en la Figura 8, las titulaciones están listadas de peor a mejor en función de las valoraciones resultantes del coeficiente de similitud  $R$ . Pero, a la vez, en el eje de abscisas - mediante el método expuesto -, se puede dar la salida en los mismos términos en los que se estableció la entrada, es decir lingüística.

Quizá no sea tan importante el *ranking* sobre todo a nivel usuario, ya que éste puede variar dependiendo del modelo de decisión implementada, así como de la valoración global dada a los términos de entrada “deficiente”, “regular”, “bueno” y “excelente”. Consideramos más interesante la valoración lingüística final, ya que mediante ella podremos considerar un clasificador de las titulaciones como “deficientes”, “regulares”, “buenas” ó “excelentes”.

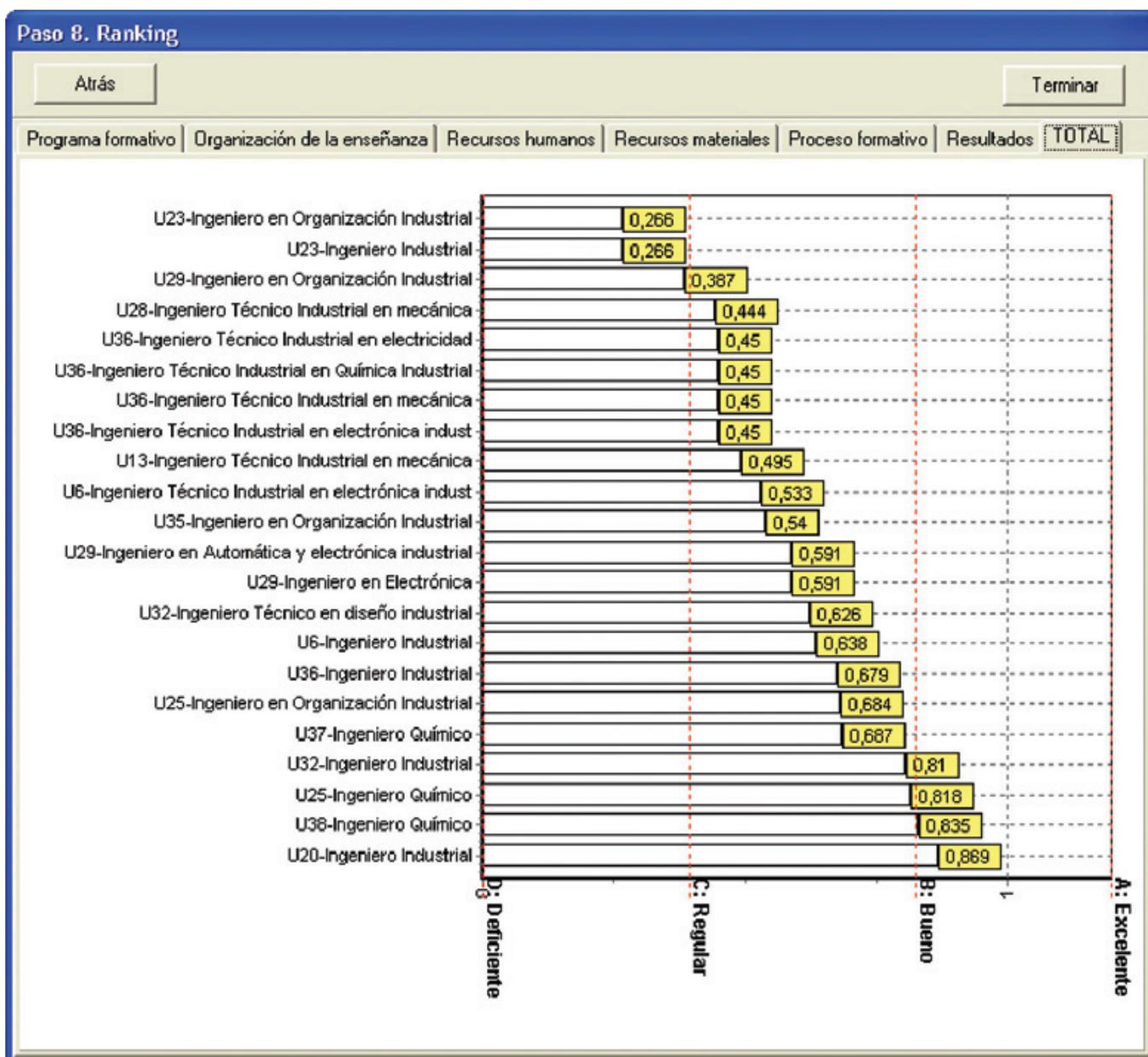


Figura 8: Ranking para el total

Asimismo, este sistema puede formar parte de un modelo de evaluación tipo *European Foundation for Quality Management* (EFQM) similar al utilizado como sistema de medida de la excelencia en distintos ámbitos universitarios como es el caso de la evaluación de bibliotecas universitarias (Pinto et al, 2007).

## 7. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema de ayuda a la decisión a los evaluadores de ANECA capaz de establecer un *ranking* de las titulaciones en el ámbito de la ingeniería industrial para las distintas Universidades. El método desarrollado también

serviría para evaluar, de forma más eficiente, los nuevos grados dentro del *Espacio Europeo de Educación Superior* o cualquier otra evaluación donde las entradas al sistema sean lingüísticas.

La información proporcionada por los expertos nos ha llevado a poder afirmar que no todos los criterios de evaluación son igualmente importantes. Así, de los datos proporcionados por los evaluadores, se obtuvo que el programa formativo es el que se considera más importante, siendo los recursos materiales los que tienen menos consideración.

Este SAD parte del Programa de Evaluación Institucional de la ANECA, donde las valoraciones de los distintos indicadores de calidad han sido realizadas de manera cualitativa, pudiendo obtener tanto salidas de tipo

cuantitativo como cualitativo. Si las salidas son numéricas obtendremos un *ranking*, mientras que si las salidas son de tipo cualitativo llegaremos a un clasificador en los términos de la entrada, siendo estas “deficiente”, “regular”, “buenas” y “excelentes”.

Para el desarrollo del SAD se han utilizado técnicas y herramientas ampliamente testadas en el ámbito científico y con gran reconocimiento, lo que le confiere al sistema amplia credibilidad y transparencia. Críticas que en muchos casos se les suele atribuir a algunos tipos de *ranking* en el ámbito universitario. De este modo se ha empleado AHP para obtener la ponderación de los criterios y TOPSIS nos ha proporcionado un método para poder agregar la información relativa a las titulaciones.

## 8. AGRADECIMIENTOS

A la ANECA por habernos facilitado el envío del cuestionario a los evaluadores en el que se ha basado este trabajo. Este artículo se ha elaborado bajo los proyectos, TIN2008 - 06872 - C04-04, que están financiados por la DGICYT, así como por el de referencia (P07-TIC02970) de la Junta de Andalucía.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA). "Guía de evaluación externa 2007" *Programa de Evaluación Institucional. Anualidad 2006/2007*. [http://www.aneca.es/active/active\\_ense\\_pei0607.asp](http://www.aneca.es/active/active_ense_pei0607.asp). 2007
- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA). "Libro Blanco de Titulaciones de Grado de Ingeniería de la Rama Industrial (Propuesta de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Industriales)" 2006.
- Bellman R.E., Zadeh L.A., "Decision-making in a fuzzy environment". *Management Sci.*, 17, 1970 p141-164.
- Buela-Casal G, Gutierrez O, Bermúdez MP, et al. "Comparative study of International academic rankings of universities". *Scientometrics*, Vol. 71, 2007, p 349-365.
- Center for Higher Education Development (CHE). "Study and research in Germany. University rankings", published in *association with Die Zeit*. 2006. <http://www.daad.de/deutschland/index.es.html>.
- Comunicado de Berlin. Comunicado la conferencia Ministros Europeos responsables de Educación Superior. Berlín 2003
- Comunicado de Bergen. Comunicado la conferencia Ministros Europeos responsables de Educación Superior. Bergen 2005
- Delgado M, Verdegay JL, Vila MA. "Linguistic decision making models". *International Journal of Intelligent Systems*, Vol.7, 1992, p 479-492.
- Docampo D. "Rankings internacionales y calidad de los sistemas universitarios". *Revista de Educación*, numero extraordinario. 2008. p.149-176.
- El Mundo, Aula de El Mundo: "Cincuenta carreras". 2009. <http://www.elmundo.es/especiales/2009/05/50carreras/index.html>
- Hwang CL, Yoon K. *Multiple Attribute Decision Methods and Applications*. Springer, Berlin Heidelberg 1981.
- García-Cascales MS, Gómez-López MD, Lamata MT. "Decisión en Grupo para la ponderación de los criterios de evaluación, en el Programa de Evaluación Institucional (PEI) para las titulaciones en el ámbito de la Ingeniería Industrial". *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Zaragoza Julio 2008
- García-Cascales MS, Lamata MT. "Solving a decision problem with linguistic information". *Pattern Recognition Letters* Vol. 28-16 2007. p. 2284-2294.
- Giannoulis Ch, Ishizaka A. "A Web-based Decision Support System with ELECTRE III for a Personalised Ranking of British Universities". *Decision Support Systems*, vol 48 2010. p.488-497.
- Kacprzyk J, Yager RR. "Linguistic summaries of data using fuzzy logic". *International Journal of General Systems*. Vol.30-2, 2001 p 133-154.
- Klir GJ, Yuan B. *Fuzzy sets and Fuzzy Logic*, Prentice Hall PTR, New Jersey ed. 1995
- Lamata MT, Peláez JL. "A Method for Improving the Consistency of Judgements". *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, Vol 10-6, 2002 p. 677-686.
- Ley Orgánica de Universidades (LOU) Ley Orgánica 6/2001 de 21 de Diciembre, Boletín Oficial del Estado, 2001.
- Marginson S. "Global university rankings: implications in general and for Australia". *Journal of Higher Education Policy and Management* Vol. 29-2 2007. p.131-142.
- Microsoft Access 2003. <http://office.microsoft.com/>
- Microsoft Excell 2003. <http://office.microsoft.com/>
- Pérez-Esparrells C, López-García AM. "Estado de la cuestión de los rankings universitarios nacionales e internacionales". *Documentos de trabajo Uninova* 2009
- Pinto M, Balagué N, Anglada LI. "Evaluación y calidad en las bibliotecas universitarias: experiencias españolas entre 1994-2006" *Revista Española de Documentación Científica* Vol. 30-3, 2007 p. 364-383.
- Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Boletín Oficial del Estado, de 30 de Octubre de 2007, nº 260 p. 44037-44048.
- Rios-Insua S, Bielza Lozoya C, Mateos Caballero A. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*. Ra-Ma Madrid-España: 2002.
- Shanghai Jiao Tong University Institute of Higher Education (SJTUHE). "Academic ranking of world universities". 2009. <http://www.arwu.org/>
- Shim JP, Warkentin M, Courtney JF, et al "Past, present, and future of decision support technology\*1," *Decision Support Systems*, Vol. 33-2. 2002 p. 111-126.
- Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process*. Macgraw Hill. 1980
- Saaty TL. *Group Decision Making and the AHP*. Springer Verlag. New York. 1989
- Times Higher Education Supplement. "World University Rankings". 2009. <http://www.thes.co.uk>
- Turban E, Aronson JE, Liang T-P., et al. *Decision Support and Business Intelligence Systems* (8th Edition) Pearson Prentice-Hall 2006.
- Zadeh LA. "Fuzzy sets", *Information and Control* Vol. 8, 1965 p 338-353.
- Zadeh LA. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part 1". *Information Sciences*. Vol. 8, 1975, p 199-249
- Zadeh LA, Kacprzyk J. (eds) *Computing with Words in Information / Intelligent Systems 1. Foundations*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Physica-Verlag (Springer-Verlag), Heidelberg and New York. Vol. 34 1999a.
- Zadeh LA, Kacprzyk J. (eds) *Computing with Words in Information / Intelligent Systems 2. Applications*. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Physica-Verlag (Springer-Verlag), Heidelberg and New York. Vol. 33 1999b.
- Zamora-Polo F. "El Espacio Europeo de Educación Superior, una oportunidad para el aprendizaje ético en la Ingeniería Industrial". *Dyna Ingeniería e Industria*. Vol 84-5. 2009 p.386-388.