

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Informática



**Aplicación Web para Evaluación de  
Desempeño 360 Grados con Múltiples  
Escala Lingüística basada en ELH**

DIPLOMA DE ESTUDIOS AVANZADOS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

*Integración de Información,  
Toma de Decisiones, DSS y Sistemas Multiagente*

**Francisco Jesús Martínez Mimblera**

Jaén, 2010



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Informática



**Aplicación Web para Evaluación de  
Desempeño 360 Grados con Múltiples  
Escalas Lingüísticas basada en ELH**

DIPLOMA DE ESTUDIOS AVANZADOS

DIRECTORES:

DR. Luis Martínez López

DRA. Macarena Espinilla Estévez

**Francisco Jesús Martínez Mimblera**

Jaén, 2010



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Motivación . . . . .	7
1.2. Objetivos . . . . .	8
1.3. Estructura . . . . .	9
<b>2. Modelado Lingüístico Difuso</b>	<b>11</b>
2.1. Enfoque Lingüístico Difuso . . . . .	12
2.1.1. Nociones y Conceptos Básicos de la Teoría de Conjuntos Difusos . . . . .	12
2.1.2. Variables Lingüísticas . . . . .	15
2.2. Modelo de Representación Lingüístico Basado en 2-tuplas . . . . .	17
2.3. Jerarquías Lingüísticas Extendidas . . . . .	20
2.3.1. Construcción de una Jerarquía Lingüística Extendida . . . . .	20
2.3.2. Esquema Computacional de la <i>ELH</i> . . . . .	21
<b>3. Evaluación de Desempeño</b>	<b>23</b>
3.1. Modelo Básico de Evaluación de Desempeño 360 Grados . . . . .	23
3.1.1. Definición del Marco de Evaluación . . . . .	26
3.1.2. Recolección de la Información . . . . .	26
3.1.3. Fase de Agregación de la Información . . . . .	27
3.1.4. Clasificación de los Empleados . . . . .	29
3.2. Modelo de Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basado en Jerarquías Lingüísticas Extendidas . . . . .	29
3.2.1. Definición del Marco de Evaluación . . . . .	30
3.2.2. Recolección de la Información . . . . .	32
3.2.3. Fase de Agregación . . . . .	33
3.2.3.1. Unificación de la Información Multigranular . . . . .	33
3.2.3.2. Agregación de la información . . . . .	33
3.2.4. Clasificación de los empleados . . . . .	35

<b>4. Aplicación Web para Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basada en ELH</b>	<b>37</b>
4.1. Arquitectura de la Aplicación . . . . .	37
4.2. Sistema de Evaluación de Desempeño EDUMEL . . . . .	38
4.2.1. Definición del Marco de Evaluación . . . . .	38
4.2.2. Recolección de la Información . . . . .	42
4.2.3. Fase de Agregación de la Información . . . . .	47
4.2.3.1. Unificación de la Información . . . . .	48
4.2.3.2. Agregación de la Información . . . . .	48
4.2.4. Clasificación de Empleados . . . . .	49
<b>5. Caso de Estudio</b>	<b>53</b>
5.1. Contexto del Caso de Estudio . . . . .	55
5.1.1. Definición del Marco de Evaluación . . . . .	55
5.1.2. Recolección de la Información . . . . .	57
5.1.3. Fase de Agregación de la Información . . . . .	62
5.2. Resultados Obtenidos . . . . .	63
5.2.1. Clasificación de Empleados . . . . .	63
<b>6. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>69</b>
<b>Apéndices</b>	<b>70</b>
<b>A. Cursos de Doctorado</b>	<b>73</b>
<b>B. Requerimientos Funcionales y Modelo E-R</b>	<b>75</b>
B.0.2. Requerimientos Iniciales de la Aplicación . . . . .	75
B.0.3. Modelo Entidad-Relación . . . . .	76
B.0.3.1. Esquema Conceptual . . . . .	76
B.0.3.2. Esquema Conceptual Modificado . . . . .	78
B.0.3.3. Tablas de la Base de Datos . . . . .	80

# Índice de tablas

3.1. Valoraciones colectivas para cada criterio . . . . .	27
3.2. Valoraciones globales para cada criterio . . . . .	28
3.3. Valoraciones globales . . . . .	28





# Índice de figuras

2.1. Representación gráfica de las funciones de pertenencia triangular, trapezoidal y gaussiana . . . . .	14
2.2. Esquema Computacional . . . . .	21
3.1. Evaluación 360 Grados o Evaluación Integral . . . . .	24
3.2. Esquema del Proceso de Evaluación de Desempeño 360 Grados . . . . .	25
3.3. Modelo de Evaluación del Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas, basado en ELH . . . . .	29
4.1. Arquitectura Cliente-Servidor . . . . .	38
4.2. Pantalla Principal para los Administradores del Sistema . . . . .	39
4.3. Crear un nuevo indicador . . . . .	40
4.4. Crear una nueva encuesta . . . . .	41
4.5. Crear un nuevo usuario . . . . .	42
4.6. Crear un nuevo departamento . . . . .	43
4.7. Crear una nueva evaluación . . . . .	44
4.8. Pantalla principal para un evaluador . . . . .	45
4.9. Puntuación de una evaluación . . . . .	46
4.10. Pantalla principal del usuarios de Recursos Humanos . . . . .	47
4.11. Elección de la función de agregación . . . . .	48
4.12. Lista clasificatoria . . . . .	49
4.13. Gráfico comparativo de barras . . . . .	50
4.14. Gráfico comparativo radial . . . . .	51
5.1. Creación de la Escala del profesor para un indicador . . . . .	56
5.2. Creación de una encuesta . . . . .	57
5.3. Lista usuarios del sistema . . . . .	58
5.4. Lista departamentos . . . . .	59
5.5. Creación de la Evaluación . . . . .	60
5.6. Realización de una evaluación . . . . .	61
5.7. Realización de la unificación y aplicación de operador de agregación . . . . .	62

5.8. Resultados globales obtenidos usando el Operador Media Aritmética . . . . .	63
5.9. Resultados globales obtenidos usando el Operador Mediana . . . . .	64
5.10. Gráfico comparativo de barras para media aritmética . . . . .	65
5.11. Gráfico comparativo de barras para la mediana . . . . .	66
5.12. Gráfico comparativo radial . . . . .	67
B.1. Esquema Conceptual . . . . .	76
B.2. Esquema Conceptual Modificado . . . . .	78

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

Uno de los principales objetivos en las empresas, y más en el momento económico actual en el que nos encontramos, es aumentar la productividad, manteniendo o minimizando los costes.

En la literatura [6, 7, 12, 32, 33, 62, 64, 67] podemos encontrar que la evaluación de los trabajadores, desarrolla, sostiene y mejora determinados niveles de productividad en la empresa. Por ello, la evaluación de desempeño del capital humano de una empresa tiene, cada vez más, un papel principal en casi todas las empresas.

El objetivo de la evaluación de desempeño es estimar el rendimiento global de un empleado. Para ello, la evaluación mide el grado de eficacia y eficiencia con el que los trabajadores realizan sus actividades, cumplen los objetivos y son responsables de su puesto de trabajo. En el proceso de evaluación de desempeño, puede considerarse únicamente la opinión que los supervisores tienen sobre el empleado objeto de evaluación. Sin embargo, esta única opinión produce diversos inconvenientes [6, 33] como evaluaciones poco objetivas, tendencias centrales o errores intencionados, etc.

Actualmente, para superar los inconvenientes mencionados, las empresas tienden a considerar además de las valoraciones de los supervisores, valoraciones del resto de colectivos que interactúan con el empleado evaluado, tales como: clientes, compañeros, colaboradores; incluso tienen en cuenta la opinión del propio empleado sobre sí mismo. Este método de evaluación de desempeño es denominado *evaluación Integral* o *evaluación 360 grados* [30, 33, 34, 57, 66]. La expresión proviene de cubrir los 360 grados que simbólicamente representan todas las vinculaciones relevantes de una persona con su entorno laboral.

Dado que la información que se maneja en los procesos de evaluación de desempeño presenta vaguedad e imprecisión, por estar basada en opiniones personales y percepciones subjetivas, es adecuado el uso de etiquetas

lingüísticas [77], ya que este uso ha dado buenos resultados a la hora de modelar dicha información en diversos campos de aplicación [5, 18, 26, 40, 45, 51]. Dicha aproximación está basada en la teoría de conjuntos difusos [76].

Debido a que en el modelo de evaluación de desempeño 360 grados intervienen diferentes colectivos y que éstos no tienen la misma interacción con el empleado, parece necesario el uso de múltiples escalas lingüísticas, ya que cada colectivo posee distinto grado de conocimiento y de percepción. Por tanto, el uso de diversas escalas lingüísticas permite recoger la valoración de cada colectivo dependiendo de su grado de conocimiento. En la literatura reciente, encontramos un modelo de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas [2]. Dicho modelo mejora limitaciones de precisión que presentaban modelos anteriores [3], ya que utiliza la estructura de las *jerarquías lingüísticas extendidas* [31] para dotarlo de una mayor flexibilidad en la elección de las escalas lingüísticas, manteniendo la precisión en los procesos computacionales.

En la actualidad, la mayoría de las empresas llevan a cabo el proceso de evaluación de desempeño de un modo tradicional, donde el conjunto de evaluadores es reunido y la información es recogida a través de cuestionarios en papel, posteriormente es traspasada a un computador para su procesamiento. Las desventajas del modo tradicional son múltiples, siendo las más destacables: tiempo invertido en reunir a los diferentes colectivos, tiempo invertido en automatizar (digitalizar) las encuestas en papel al computador, centralización de los datos, etc.

Esta memoria de investigación persigue implementar un sistema software de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas, distribuido y automatizado. De modo que los empleados puedan completar las encuestas desde cualquier lugar, sin estar físicamente en la empresa, y a cualquier hora. Además, los resultados podrán ser calculados automáticamente y mostrados mediante gráficos comparativos.

## 1.2. Objetivos

El propósito de esta memoria de investigación es el diseño y desarrollo de una herramienta software distribuida y automatizada que dé soporte al proceso de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas.

Así, los objetivos de esta memoria pueden desglosarse en dos:

- Diseñar y desarrollar una aplicación Web que permita gestionar completamente el proceso de evaluación de desempeño 360 grados, desde la creación de los formularios con los indicadores a evaluar y las escalas lingüísticas a utilizar, pasando desde la recogida de las opiniones de

los diferentes colectivos, hasta la obtención flexible de resultados con gráficas comparativas entre los empleados.

- Llevar a cabo un caso de estudio de evaluación de desempeño utilizando el sistema software desarrollado. El caso de estudio que se presentará evalúa el trabajo realizado por los alumnos de la asignatura de Sistemas Informáticos de la Universidad de Jaén durante el curso 2009/2010.

### 1.3. Estructura

Para desarrollar los objetivos previamente mencionados, esta memoria está dividida en varios capítulos que se estructuran como se detalla a continuación:

- **Capítulo 2:** Revisa conceptos y herramientas del modelado lingüístico necesarios para manejar información lingüística expresada en múltiples escalas. Así, revisaremos el Enfoque Lingüístico Difuso, el modelo de Representación de Información Lingüística Basado en la 2-tupla y las Jerarquías Lingüísticas Extendidas.
- **Capítulo 3:** Revisa en detalle el proceso de evaluación de desempeño, dedicando especial interés al modelo de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas.
- **Capítulo 4:** Presenta la primera de nuestras propuestas, una aplicación Web para evaluación de desempeño 360 grados basada en el modelo revisado en el capítulo anterior. Para ello, describimos la arquitectura, así como la funcionalidad con la que cuenta dicha aplicación.
- **Capítulo 5:** Presenta un caso de estudio llevado a cabo en la asignatura de Sistemas Informáticos para evaluar el trabajo desempeñado por cada alumno en la asignatura, utilizando la aplicación Web descrita en el capítulo anterior.
- **Capítulo 6:** Expone las conclusiones extraídas de nuestra investigación y presentamos las líneas de actuación futuras.

Finalmente, la memoria de investigación incluye un anexo que resume brevemente los cursos de doctorado realizados durante el curso 2008/2009 y otro con el análisis y diseño de la aplicación web.



## Capítulo 2

# Modelado Lingüístico Difuso

La Lógica Difusa se plantea como alternativa a la lógica tradicional, con el objetivo de introducir grados de incertidumbre en las sentencias que califica [80]. Hay numerosas situaciones en las que la lógica tradicional es idónea. Por ejemplo, supongamos que partimos de las calificaciones obtenidas en una clase y queremos agrupar a los aprobados (aquellos que hayan obtenido una calificación igual o superior a 5). El proceso de razonamiento que se seguiría mediante la lógica tradicional sería ir comparando cada calificación mayor o igual que 5 hasta obtener cuáles están aprobados y cuáles no.

Sin embargo, el inconveniente de esta lógica es que en la vida real no nos encontramos frecuentemente con criterios de clasificación tan precisos como en el ejemplo anterior. En efecto, hay numerosas situaciones en las que la información no puede ser evaluada cuantitativamente de forma precisa, pero puede que sí sea posible hacerlo cualitativamente, y en estos casos hemos de hacer uso de un *enfoque lingüístico*. Por ejemplo, cuando intentamos calificar algún fenómeno relacionado con percepciones sensoriales, a menudo usamos palabras o descripciones en lenguaje natural, en lugar de valores numéricos. Supongamos que dado un conjunto de empleados, los intentamos agrupar según su grado de eficacia en el trabajo desempeñado. Los empleados no son sólo *eficientes* o *no eficientes* en su trabajo, sino que la mayoría pertenecen a grupos intermedios. Un empleado suele ser *muy eficiente* o *más o menos eficiente*. Casi nunca las calificamos con rotundidad, porque el lenguaje que usamos nos permite introducir modificadores que añaden imprecisión: *un poco, bastante, algo ...*

En este sentido, el uso de la teoría de conjuntos difusos ha dado muy buenos resultados para el tratamiento de información cualitativa [77]. El *modelado lingüístico difuso* es una herramienta que permite representar aspectos cualitativos y que está basado en el concepto de *variables lingüísticas*, es decir, variables cuyo valores no son números, sino palabras o sentencias expresadas en lenguaje natural o artificial [77].

El modelo de evaluación de desempeño que implementará nuestra pro-

puesta [4] utiliza el enfoque lingüístico difuso a la hora de modelar la información presente en el proceso de evaluación de desempeño, ya que la información utilizada en este proceso implica vaguedad e imprecisión. Además, dicho modelo está definido en un marco de evaluación con múltiples escalas lingüísticas, es decir, un marco donde los evaluadores pueden escoger la escala lingüística para representar sus evaluaciones. Para operar con dicha información, el modelo de evaluación hace uso de la representación lingüística basada en 2-tuplas [42] y de las jerarquías lingüísticas extendidas [31].

En este capítulo revisamos brevemente el *enfoque lingüístico difuso*, así como del *modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas* y las *jerarquías lingüísticas extendidas*.

## 2.1. Enfoque Lingüístico Difuso

Los problemas presentes en el mundo real presentan aspectos que pueden ser de distinta naturaleza. Cuando dichos aspectos o fenómenos son de naturaleza cuantitativa, éstos se valoran fácilmente utilizando los valores numéricos. Sin embargo, cuando la naturaleza de tales aspectos no es cuantitativa sino cualitativa o cuando la información es vaga e imprecisa, no es sencillo ni adecuado utilizar un modelado preciso de preferencias basado en valoraciones numéricas. En estos casos, se ha mostrado adecuado el uso del modelado lingüístico [1, 5, 13, 26, 39].

Aspectos cualitativos suelen aparecer frecuentemente en problemas que presentan incertidumbre en los que se utiliza información relacionada con percepciones sensoriales de los seres humanos (esfuerzo, capacidad, eficiencia, gastos, etc.). En estos casos, el uso de palabras del lenguaje natural (algo, bastante, mucho, poco, etc.) en lugar de valores numéricos precisos es habitual.

En esta memoria de investigación se hace uso del enfoque lingüístico difuso para modelar la información lingüística, ya que proporciona un método directo para modelar información lingüística mediante variables lingüísticas, cuyo dominio de expresión son conjuntos de palabras o términos lingüísticos y que tiene como base teórica la teoría de conjuntos difusos [76].

Dicho enfoque será utilizado en el modelo lingüístico multigranular para evaluación de desempeño 360 grados [4], que implementa nuestra propuesta. A continuación, revisamos algunas nociones y conceptos básicos sobre la teoría de conjuntos difusos.

### 2.1.1. Nociones y Conceptos Básicos de la Teoría de Conjuntos Difusos

La teoría de conjuntos difusos propuesta por L. Zadeh en la década de los 60 [?] y tiene por objeto modelar aquellos problemas donde la teoría clásica de conjuntos resultaba insuficiente. Dicha teoría generaliza la noción



de conjunto e introduce el concepto de *conjunto difuso* como aquel conjunto cuya frontera no es precisa. Los conjuntos difusos surgen como una nueva forma de representar la imprecisión y la incertidumbre [55, 81] diferente al tratamiento tradicional llevado a cabo por la teoría clásica de conjuntos y la teoría de la probabilidad.

A lo largo de las cinco décadas de existencia de la Teoría de Conjuntos Difusos, gran cantidad de investigadores la han utilizado en su investigación y la han aplicado en dos vertientes principales [68]:

1. Como una teoría matemática formal [53, 65], ampliando conceptos e ideas de otras áreas de la matemática como, por ejemplo, el álgebra, la teoría de grafos, la topología, etc., al aplicar conceptos de la teoría de conjuntos difusos a dichas áreas.
2. Como una herramienta potente para tratar situaciones del mundo real en las que aparece incertidumbre (imprecisión, vaguedad, inconsistencia, etc.). Debido a la generalidad de esta teoría, ésta se adapta con facilidad a diferentes contextos y problemas. De esta forma, se ha demostrado como una herramienta de gran utilidad en numerosas áreas como, por ejemplo: toma de decisión [5, 11, 16, 40, 49, 72], evaluación sensorial [58, 60, 69], servicios electrónicos inteligentes [56, 59, 61], evaluación de la calidad de documentos Web [50, 51, 52], modelos de recuperación de información [17, 18, 44, 45, 46, 47, 48], diagnósticos clínicos [26], teoría de sistemas [20, 68], bases de datos [19, 75], operadores de agregación [36, 70], etc.

En este apartado, hacemos una pequeña revisión de los conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos que utilizaremos en esta memoria. Esta introducción no pretende ser exhaustiva sino una breve presentación de dichos conceptos. Para mayor detalle, véase [55].

La noción de conjunto refleja la idea de agrupar colecciones de objetos que cumplan una o varias propiedades que caractericen a dicho conjunto. Una propiedad puede ser considerada como una función que le asigna un valor en el conjunto  $\{0, 1\}$  a cada elemento del universo de discurso,  $U$ , de forma que si el elemento pertenece al conjunto, es decir, cumple la propiedad, se le asigna el valor 1, o, en caso contrario, el valor 0.

La teoría de conjuntos difusos se fundamenta en el concepto de *conjunto difuso* [?] que suaviza el requerimiento anterior y admite valores intermedios en la función característica, que se denomina *función de pertenencia*. Esto permite una interpretación más realista de la información, puesto que la mayoría de las categorías que describen los objetos del mundo real, no tienen unos límites claros ni bien definidos.

Un conjunto difuso puede definirse como una colección de objetos con valores de pertenencia entre 0 (exclusión total) y 1 (pertenencia total). Los

valores de pertenencia expresan los grados con los que cada objeto es compatible con las propiedades o características distintivas de la colección. Formalmente podemos definir un conjunto difuso como sigue.

**Definición 1** Un conjunto difuso  $\tilde{A}$  sobre un dominio o universo de discurso  $U$  está caracterizado por una función de pertenencia que asocia a cada elemento del conjunto el grado de pertenencia a dicho conjunto, asignándole un valor en el intervalo  $[0, 1]$ :

$$\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow [0, 1]$$

Así, un conjunto difuso  $\tilde{A}$  sobre  $U$  puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento perteneciente a  $U$  y su grado de pertenencia,  $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in U, \mu_{\tilde{A}} \in [0, 1]\}$ .

Las gráficas que representan una función de pertenencia pueden adoptar distintas formas (ver Figura 2.1), cumpliendo propiedades específicas, pero es el contexto de la aplicación el que determina la representación más adecuada en cada caso. El uso de funciones de pertenencia paramétricas lineales son habituales para capturar dicha imprecisión. La representación paramétrica es obtenida a partir de una 4-tupla  $(a, b, d, c)$ , donde  $b$  y  $d$  indican el intervalo en que el valor de pertenencia es 1, y donde  $a$  y  $c$  indican los límites izquierdo y derecho del dominio de definición de la función de pertenencia trapezoidal. Un caso particular de este tipo de representación, son las valoraciones lingüísticas cuyas funciones de pertenencia son triangulares, es decir,  $b = d$ . Por tanto, se representan por medio de una 3-tupla  $(a, b, c)$ . Otros autores usan otro tipo de funciones como, por ejemplo, las funciones Gaussianas [17].

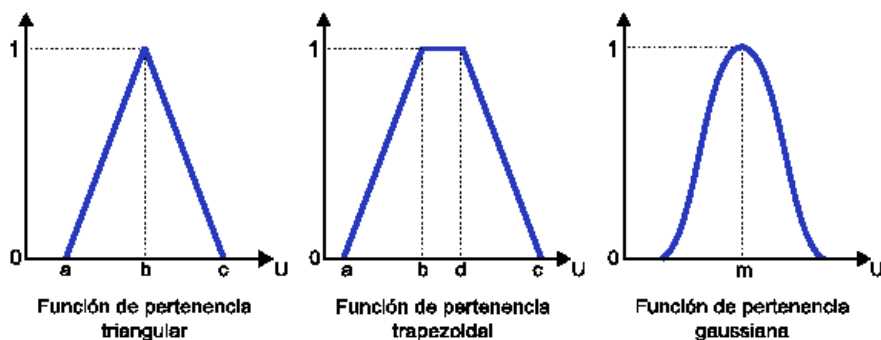


Figura 2.1: Representación gráfica de las funciones de pertenencia triangular, trapezoidal y gaussiana

A continuación, introducimos otros conceptos básicos a la hora de trabajar con conjuntos difusos como son: el *soporte*, la *altura* y el  $\alpha$ -*corte* de un conjunto difuso.

**Definición 2** Se define el **soporte** de un conjunto difuso  $\tilde{A}$  en el universo  $U$ , como el conjunto formado por todos los elementos de  $U$  cuyo grado de pertenencia a  $\tilde{A}$  sea mayor que 0:

$$\text{supp}(\tilde{A}) = \{x \in U / \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$$

**Definición 3** Se define la **altura** de un conjunto difuso  $\tilde{A}$  como el mayor grado de pertenencia de todos los elementos de dicho conjunto:

$$h(\tilde{A}) = \max\{\mu_{\tilde{A}} / x \in U\}$$

**Definición 4** El  $\alpha$ -**corte** de un conjunto difuso  $\tilde{A}$  es el conjunto formado por todos los elementos del universo  $U$  cuyos grados de pertenencia en  $\tilde{A}$  son mayores o iguales que el valor de corte  $\alpha \in [0, 1]$ :

$$\alpha_{\tilde{A}} = \{x \in U / \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$$

### 2.1.2. Variables Lingüísticas

El modelado lingüístico difuso es un enfoque aproximado basado en la Teoría de Conjuntos Difusos. Este modelado representa información cualitativa con valores lingüísticos mediante *variables lingüísticas* [77]. Una variable lingüística se caracteriza por un *valor sintáctico* o *etiqueta* que es una palabra o frase perteneciente a un conjunto de términos lingüísticos, y por un *valor semántico* o *significado* que viene dado por un subconjunto difuso en un universo de discurso. Formalmente se define de la siguiente manera:

**Definición 5** Una variable lingüística se define como una quintupla  $(H, T(H), U, G, M)$ .  $H$  simboliza el nombre de la variable.  $T(H)$  (o simplemente  $T$ ) el conjunto de términos de  $H$ , es decir la colección de todos los posibles valores de  $H$ . Una variable numérica,  $u$ , llamada variable base, se asocia a cada valor lingüístico,  $z \in T(H)$ , y toma valores,  $u'$ , en el universo de discurso o dominio de la variable base  $U$ .  $G$  es la regla sintáctica (normalmente toma la forma de una gramática) que genera los valores  $z$  de  $T(H)$ , y  $M$  es la regla semántica encargada de dar el significado,  $M(z)$ , un subconjunto difuso de  $U$ , a cada valor  $z$ . Cada  $z \in T(H)$ , generado por  $G$ , es la etiqueta para la restricción difusa,  $M(z)$ , definida sobre los valores de la variable base,  $u$ ,

$$M(z) = \{(u', \mu_z(u')), | u' \in U\},$$

siendo  $\mu_z(u')$  el grado de compatibilidad entre el valor de la variable base y el concepto expresado por el valor lingüístico  $z$ .

Al ser las palabras menos precisas que los números, el concepto de variable lingüística es una buena propuesta para caracterizar aquellos fenómenos que no son fácilmente valorables mediante valores numéricos precisos.

Para modelar la información lingüística desde el punto de vista del enfoque lingüístico difuso es necesario:

1. La elección de una sintaxis adecuada del conjunto de términos lingüísticos,  $T(H)$ .
2. La definición de la semántica asociada a cada término lingüístico.
3. Un concepto muy relevante al trabajar con información lingüística es la granularidad de la incertidumbre que indica la cardinalidad del conjunto de términos lingüísticos.

Valores típicos de granularidad en una escala lingüística son valores impares, tales como 7 ó 9, donde la etiqueta central representa una valoración de aproximadamente 0.5 y el resto de etiquetas se encuentran distribuidas simétricamente a su alrededor [14].

Cuando diferentes individuos tienen diferente grado de conocimiento sobre una variable lingüística, cada individuo puede utilizar un conjunto de términos lingüísticos con una granularidad adecuada a su conocimiento. De lo contrario, individuos con un bajo grado de conocimiento sobre una variable no podrán discernir algunas etiquetas que se encuentran a lo largo de la escala lingüística. De un modo análogo, individuos con un alto grado de conocimiento sobre una variable se sentirán frustrados al igualar diferentes valores en una misma etiqueta de la escala lingüística.

En esta memoria de investigación centrada en procesos de evaluación de desempeño, la granularidad de la incertidumbre representa un aspecto crucial, ya que existe diferente grado de conocimiento entre los colectivos que evalúan a cada empleado. Por tanto, los diferentes colectivos deben utilizar una escala lingüística apropiada al conocimiento que poseen, este aspecto es clave en nuestra investigación.

Una vez establecida la cardinalidad, se aplicará un mecanismo para generar la sintaxis de los términos lingüísticos. Existen dos enfoques para esto, el primero define la sintaxis a partir de una gramática libre de contexto y el segundo utiliza una escala con un orden total definido. A continuación, analizamos brevemente ambos mecanismos.

### 1. Enfoque Basado en una Gramática Libre de Contexto

Una posibilidad para generar el conjunto de términos lingüísticos consiste en utilizar una gramática libre de contexto  $G$ , donde el conjunto de términos pertenece al lenguaje generado por  $G$  [15, 17, 78, 79]. Una gramática generadora,  $G$ , es una 4-tupla  $(V_N, V_T, I, P)$ , siendo  $V_N$  el conjunto de símbolos no terminales,  $V_T$  el conjunto de símbolos terminales,  $I$  el símbolo inicial y  $P$  el conjunto de reglas de producción. La elección de estos cuatro elementos determinará la cardinalidad y forma del conjunto de términos lingüísticos.

El lenguaje generado debería ser lo suficientemente grande para que pueda describir cualquier posible situación del problema.

De acuerdo con las observaciones de Miller [63], el lenguaje generado no tiene que ser infinito, sino más bien fácilmente comprensible.

Por ejemplo, entre los símbolos terminales y no terminales de  $G$  podemos encontrar términos primarios (por ejemplo: *alto, medio, bajo*), modificadores (por ejemplo: *no, mucho, muy, más o menos*), relaciones (por ejemplo: *mayor que, menor que*) y conectivos (por ejemplo: *y, o, pero*). Construyendo  $I$  como cualquier término primario, el conjunto de términos lingüísticos  $T(H) = \{muy\ alto, alto, alto\ o\ medio, etc.\}$  se genera usando  $P$ .

## 2. Enfoque Basado en Términos Primarios con una Estructura Ordenada

Una alternativa para reducir la complejidad de definir una gramática consiste en dar directamente un conjunto de términos distribuidos sobre una escala con un orden total definido [16, 37, 74]. Por ejemplo, consideremos el siguiente conjunto de siete etiquetas  $T(H) = \{N, MB, B, M, A, MA, P\}$ :

$$\begin{array}{lll} s_0 = N = Nada & s_1 = MB = Muy\_Bajo & s_2 = B = Bajo \\ s_3 = M = Medio & s_4 = A = Alto & s_5 = MA = Muy\_Alto \\ s_6 = P = Perfecto & & \end{array}$$

donde  $s_i < s_j$  si y sólo si  $i < j$ .

En estos casos, es necesario que el conjunto de términos lingüísticos satisfagan las siguientes condiciones adicionales [73].

1. Existe un operador de negación. Por ejemplo,  $Neg(s_i) = s_j$ ,  $j = g - i$  ( $g+1$  es la cardinalidad de  $T(H)$ ).
2. Tiene un operador de maximización:  $máx(s_i, s_j) = s_i$  si  $s_i \geq s_j$ .
3. Tiene un operador de minimización:  $mín(s_i, s_j) = s_i$  si  $s_i \leq s_j$ .

Nosotros utilizamos el enfoque basado en términos primarios con una estructura ordenada en nuestra memoria de investigación.

## 2.2. Modelo de Representación Lingüístico Basado en 2-tuplas

El modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas es utilizado en el modelo que implementa nuestra propuesta [4] y fue presentado en [42] para mejorar problemas de pérdida de información en los procesos de computación con palabras de otros modelos [41], como el modelo basado

en el Principio de Extensión [26] y modelo Simbólico [27]. Además, se ha demostrado como un modelo útil para el tratamiento de contextos con múltiples escalas lingüísticas [35, 38, 43]. Dicho modelo se basa en el concepto de traslación simbólica.

**Definición 6** [42]. Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos, y  $\beta \in [0, g]$  un valor en el intervalo de granularidad de  $S$ . La Traslación Simbólica de un término lingüístico  $s_i$  es un número valorado en el intervalo  $[-.5, .5)$  que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor  $\beta \in [0, g]$  obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo,  $i \in \{0, \dots, g\}$ , que indica el índice de la etiqueta lingüística ( $s_i$ ) más cercana en  $S$ .

A partir de este concepto, se presentó un nuevo modelo de Representación para la Información Lingüística, el cuál usa como base de representación un par de valores o 2-tupla,  $(s_i, \alpha)$ , donde  $s_i \in S$  y  $\alpha \in [-.5, .5)$ .

Este modelo de representación define un conjunto de funciones que facilitan las operaciones sobre 2-tuplas.

**Definición 7** [42]. Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos,  $\bar{S} = S \times [-0.5, 0.5)$  y  $\beta \in [0, g]$  un valor que representa el resultado de una operación simbólica entonces la 2-tupla lingüística que expresa la información equivalente a  $\beta$  se obtiene usando la siguiente función:

$$\Delta : [0, g] \longrightarrow \bar{S}$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-.5, .5), \end{cases}$$

donde  $\text{round}$  es el operador usual de redondeo,  $s_i$  es la etiqueta con índice más cercano a  $\beta$  y  $\alpha$  es el valor de la traslación simbólica.

Conviene señalar que  $\Delta$  es biyectiva y  $\Delta^{-1} : \bar{S} \longrightarrow [0, g]$  es definida como  $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$ . En este sentido, la 2-tupla  $\bar{S}$  queda identificada con un valor en el intervalo  $[0, g]$ .

### **Demostración.**

Es trivial si consideramos la siguiente función.

$$\Delta^{-1} : \bar{S} \longrightarrow [0, g]$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta.$$

**Comentario 1.** A partir de las definiciones anteriores, la conversión de un término lingüístico en una 2-tupla consiste en añadir el valor cero como traslación simbólica:

$$H : S \rightarrow \bar{S}$$

$$H(s_i) = (s_i, 0) = \bar{s}_i \in \bar{S}$$

Junto a este modelo de representación se definió un modelo computacional asociado presentado en [42] que define:

1. *Operador de comparación de 2-tupla:* La comparación de información lingüística representada por medio de 2-tupla se realiza de acuerdo a un orden lexicográfico. Consideremos dos 2-tuplas  $(s_k, \alpha_1)$  y  $(s_l, \alpha_2)$  que representan cantidades de información:

- Si  $k < l$ , entonces  $(s_k, \alpha_1)$  es menor que  $(s_l, \alpha_2)$ .
- Si  $k = l$ , entonces
  - a) Si  $\alpha_1 = \alpha_2$ , entonces  $(s_k, \alpha_1)$  y  $(s_l, \alpha_2)$  representan la misma información.
  - b) Si  $\alpha_1 < \alpha_2$ , entonces  $(s_k, \alpha_1)$  es menor que  $(s_l, \alpha_2)$ .
  - c) Si  $\alpha_1 > \alpha_2$ , entonces  $(s_k, \alpha_1)$  es mayor que  $(s_l, \alpha_2)$ .

2. *Operador de negación de 2-tupla:* se define como,

$$Neg(s_i, \alpha) = \Delta(g - (\Delta^{-1}(s_i, \alpha))),$$

siendo  $g + 1$  la cardinalidad del conjunto de etiquetas  $S$ .

3. *Operador de agregación de 2-tupla:* La agregación de información consiste en obtener un valor que resuma un conjunto de valores. En la literatura, podemos encontrar numerosos operadores de agregación que nos permiten combinar la información de acuerdo a distintos criterios [8, 9, 10, 21, 28, 29, 71]. Cualquiera de estos operadores puede ser fácilmente extendido para trabajar con 2-tuplas usando funciones  $\Delta$  y  $\Delta^{-1}$ , que transforman valores numéricos en 2-tupla y viceversa sin pérdida de información. Algunos ejemplos de estos operadores, los cuales usaremos en la implementación de la aplicación web, son los siguientes:

**Definición 8** [42]. Siendo  $X = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$  un conjunto de variables 2-tuplas lingüísticas, la 2-tupla que simboliza la media aritmética,  $\bar{x}^e$ , se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{x}^e[(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)] = \Delta \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \right) = \Delta \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right).$$

**Definición 9** [42] Sea  $X = \{(s_1, \alpha_1)_1, \dots, (s_n, \alpha_n)_n\}$ ,  $s_j \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto ordenado de 2-tuplas, siendo  $(s_j, \alpha_j)_k$  el  $k$ -ésimo elemento mayor del conjunto  $X$ , la 2-tupla que simboliza la mediana,  $Me(X)$ , se define de la siguiente forma:

$$Me(X) = \begin{cases} Me(X) = (s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}} & \text{si } n \text{ es impar} \\ Me(X) = (s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}} & \text{si } n \text{ es par} \end{cases}$$

Cuando  $n$  es par, el valor de la Mediana no es único,  $Me(X) \in [(s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}}, (s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}}]$ . Generalizando:

$$Me(X) = \Delta\left(\frac{\Delta^{-1}(s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}} + \Delta^{-1}(s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}}}{2}\right)$$

### 2.3. Jerarquías Lingüísticas Extendidas

Cuando varios individuos expresan sus valoraciones en diferentes escalas lingüísticas con diferente granularidad, se define un marco de evaluación con múltiples escalas lingüísticas, es decir, un marco de evaluación multigranular.

Las jerarquías lingüísticas extendidas [31], Extended Linguistic Hierarchies (ELH), fueron propuestas para corregir ciertas deficiencias que sufría el modelo de jerarquías lingüísticas propuesto en [43] para manejar marcos de evaluación multigranulares. Además, las *ELH* proponen un esquema computacional que permite operar con información expresada en un marco de evaluación multigranular de un modo preciso.

En esta sección revisamos el concepto de jerarquía lingüística extendida, ya que es la estructura lingüística que utiliza el modelo de evaluación de desempeño para manejar múltiples escalas lingüísticas. A continuación, revisamos el esquema computacional para llevar a cabo los procesos computacionales entre los términos expresados en diferentes escalas lingüísticas pertenecientes a una *ELH*.

#### 2.3.1. Construcción de una Jerarquía Lingüística Extendida

Una jerarquía lingüística extendida se compone de un conjunto de niveles, donde cada nivel es una escala lingüística simétrica y uniformemente distribuida con una granularidad diferente al resto de niveles. Cada nivel de la *ELH* es notado como,  $l(t, n(t))$ , siendo  $t$  un número que indica el nivel dentro de la *ELH*,  $n(t)$  la granularidad de la escala que ocupa el nivel  $t$ . Cada escala lingüística está formada por el conjunto de etiquetas lingüísticas,  $\bar{S}^{n(t)} = \{\bar{s}_0^{n(t)}, \dots, \bar{s}_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ .

Para construir una *ELH* se definieron las siguientes reglas [31]:

- *Regla 1 Extendida*: Incluir en la *ELH* el conjunto de las  $m$  escalas lingüísticas ordenadas según su granularidad:



$$l(t, n(t)), t = 1, \dots, m, n(t) < n(t + 1). \quad (2.1)$$

Este conjunto de niveles definen el marco lingüístico multigranular.

- *Regla 2 Extendida:* Añadir un último nivel,  $l(m + 1, n(m + 1))$ , a la *ELH* que es notado como  $l(t', n(t'))$  con la siguiente granularidad:

$$n(t') = m.c.m.(n(t) - 1) + 1, t = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

siendo *m.c.m.* el *mínimo común múltiplo*. Este nivel es utilizado únicamente para realizar los procesos computacionales sin pérdida de información.

### 2.3.2. Esquema Computacional de la *ELH*

La información contenida en un marco lingüístico multigranular debe ser unificada en una escala lingüística única antes de operar sobre ella, ya que no es posible operar con información que no se encuentra en un mismo dominio de expresión [31].

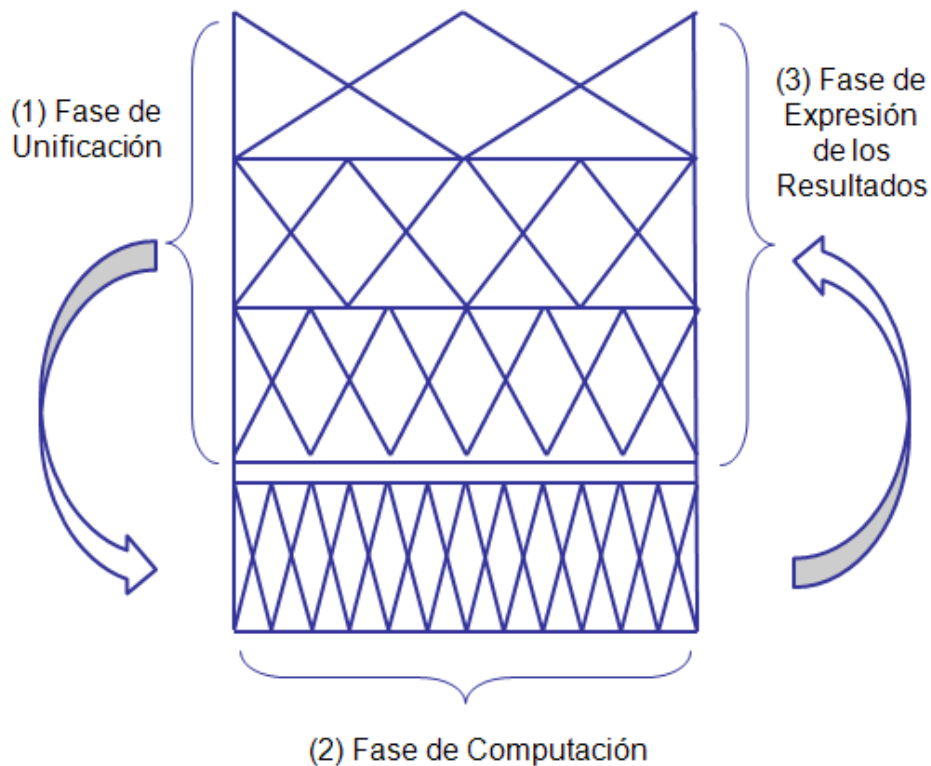


Figura 2.2: Esquema Computacional

El esquema computacional basado en *ELH* para llevar a cabo operaciones entre términos de diferentes escalas se define como sigue [31] (ver figura 2.2):

1. Fase de Unificación de la Información. En primer lugar se unifica la información lingüística multigranular mediante la función de transformación entre niveles de una Jerarquía Lingüística,  $TF_o^d$ , definida en [43]:

$$\begin{aligned}
 TF_o^d : \bar{S}^n(d) &\longrightarrow \bar{S}^n(o). \\
 TF_o^d : l(d, n(d)) &\longrightarrow l(o, n(o)). \\
 TF_o^d(s_i^{n(o)}, \alpha^{n(o)}) &= \\
 \Delta \left( \frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(o)}, \alpha^{n(o)}) \cdot (n(d') - 1)}{n(d) - 1} \right). & \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

La información lingüística valorada en las diferentes escalas es expresada en el último nivel de la *ELH*,  $(t', n(t'))$ , nivel de destino. Para ello en la función  $TF_o^d$ ,  $o = \{1, \dots, m\}$  pueden ser cualquiera de los niveles de expresión de información lingüística, mientras que la información unificada es expresada en el nivel de destino  $d$ , que es siempre  $l(t', n(t'))$ .

2. Fase de Computación. Los procesos computacionales se realizan sobre la información unificada en el nivel,  $(t', n(t'))$ , sin pérdida de información, usando el modelo computacional lingüístico basado en 2-tupla [42].
3. Fase de Expresión de los Resultados. Los resultados obtenidos pueden expresarse en cualquier nivel de la *ELH* de un modo preciso. Para ello se utiliza la función  $TF_o^d$ . En esta fase, el origen,  $o$ , es el nivel donde se obtienen los resultados  $(t', n(t'))$ , que pueden ser expresados en cualquier nivel,  $d$ , definido en el marco lingüístico multigranular,  $l(d, n(d))$ ,  $d = \{1, \dots, m\}$ .

La última fase, expresión de los resultados, no es obligatoria, pero sí recomendable, ya que una vez obtenidos los resultados es conveniente que estos sean expresados en las escalas lingüísticas iniciales, fáciles de entender por los expertos que dieron sus opiniones y/o preferencias sobre ellas.

## Capítulo 3

# Evaluación de Desempeño

La capacidad para tomar decisiones es una característica propia de los seres humanos, habitual en escenarios tan comunes como los planteados por el sector empresarial. En concreto y atendiendo al problema que va a ser analizado a lo largo de esta memoria, en cualquier empresa se evalúa continuamente el rendimiento de los empleados con el fin de llevar a cabo políticas propias del mismo, como pueden ser los planes de mejoras salariales, planes de formación, planes promocionales, etc.

La propuesta de esta memoria de investigación consiste en implementar un sistema software de evaluación de desempeño 360 grados, distribuido y automatizado. Dicho modelo de evaluación está definido en un marco de evaluación con múltiples escalas lingüísticas, es decir, un marco donde los evaluadores pueden expresar la información lingüísticas en distintas escalas lingüísticas. De este modo, se aportará una mayor flexibilidad y fiabilidad, ya que permite a cada colectivo ofrecer la escala lingüística más apropiada a su conocimiento. En este capítulo revisaremos brevemente el Modelo Básico de Evaluación de Desempeño 360 grados y posteriormente el Modelo de Evaluación de Desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas bajo el que subyace nuestra propuesta.

### 3.1. Modelo Básico de Evaluación de Desempeño 360 Grados

Las políticas de evaluación de desempeño generalmente han sido realizadas directamente por los equipos directivos, que finalmente son los que toman las decisiones sobre los empleados en las políticas de recursos humanos. Sin embargo, los profundos cambios en las estructuras organizativas han provocado que también se incluyan en el proceso de evaluación las opiniones de los compañeros del trabajador evaluado, así como la de subordinados, colaboradores, clientes, e incluso la del propio individuo. Este proceso de Evaluación de Desempeño es conocido como Evaluación de 360 Grados o

Evaluación Integral [30, 33, 57, 66]. Dicha expresión proviene de representar simbólicamente todas las vinculaciones relevantes de una persona con su entorno laboral (ver Figura 3.1).

La evaluación de Desempeño 360 grados permite a las empresas obtener opiniones de diferente índole sobre el rendimiento de un trabajador, este hecho permite mejorar los resultados del proceso de evaluación. Encuestas recientes en EE.UU demuestran que más del 90 % de las empresas que aparecen en la lista Fortune 1000 han desarrollado sistemas de evaluación integral [33, 66].

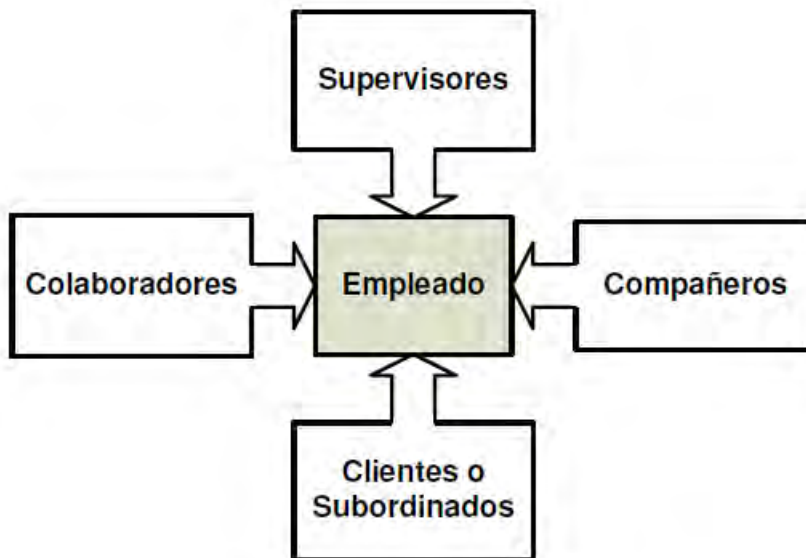


Figura 3.1: Evaluación 360 Grados o Evaluación Integral

El modelo de evaluación 360 grados comenzó a utilizarse de forma intensiva a mediados de los años 80, principalmente para la evaluación de altos directivos. Desde entonces son muchos los defensores y los detractores de los procesos de evaluación integrales. A continuación mostramos algunas de las ventajas y de los inconvenientes de la utilización de este sistema. De acuerdo con Fisher [33], se pueden señalar las siguientes ventajas:

- Recopila opiniones desde varias y diferentes perspectivas, lo que lo convierte en un sistema más amplio de evaluación.
- Al obtener información desde diferentes puntos de vista, la evaluación permite tomar decisiones para la mejora de la calidad total de la empresa.

- Reduce el sesgo y los prejuicios, ya que la información proviene de más personas.

Por otra parte, según Cardy y Dobbins [23], también se pueden enumerar algunas desventajas:

- El sistema es más complejo que un sistema normal de evaluación de desempeño, debido a la cantidad y diversidad de valoraciones obtenidas.
- Es necesaria la capacitación para que el sistema funcione con eficiencia.
- Requiere la aceptación tanto de los evaluadores como de los evaluados.

Pese a las desventajas mencionadas, se ha observado que la evaluación de desempeño 360 grados aporta fuertes mejoras frente a los modelos clásicos de evaluación, por lo que en esta memoria de investigación se adoptará por la evaluación 360 grados.

Un proceso de evaluación de desempeño puede modelarse mediante un proceso basado en análisis a la decisión [25] con un esquema multiexperto multicriterio [24, 39, 43, 54]. En la figura 3.2 se muestra gráficamente un esquema general de un modelo de Evaluación del Desempeño 360 Grados. Posteriormente, se detallan brevemente cada una de las fases.

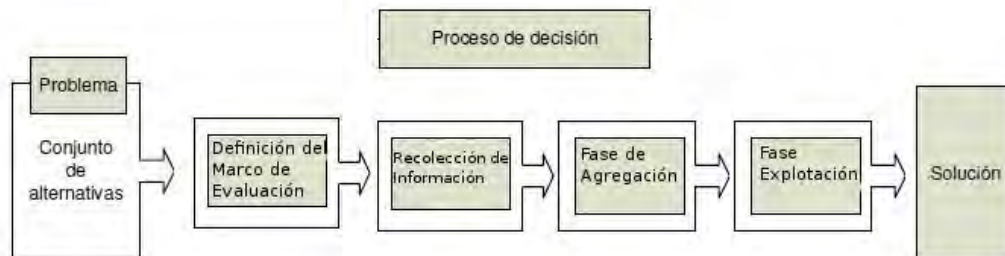


Figura 3.2: Esquema del Proceso de Evaluación de Desempeño 360 Grados

El esquema seguido por dicho modelo es el siguiente:

1. Definición del Marco de Evaluación
2. Recolección de la Información
3. Fase de Agregación de la Información
4. Fase de Explotación

### 3.1.1. Definición del Marco de Evaluación

En esta fase se define el contexto del proceso de evaluación. Para ello, consideraremos el modelo de una empresa que desea llevar a cabo dicho proceso en algunos de sus empleados, siendo  $X = \{x_1, \dots, x_m\}$  el conjunto de empleados a evaluar por los siguientes colectivos:

- Un conjunto de  $r$  supervisores o superiores:  $A = \{a_1, \dots, a_r\}$ .
- Un conjunto de  $s$  colaboradores o compañeros:  $B = \{b_1, \dots, b_s\}$ .
- Un conjunto de  $t$  clientes o subordinados:  $C = \{c_1, \dots, c_t\}$ .

Aunque en este caso se han considerado tres colectivos de evaluadores, dependiendo de cada situación concreta, podrían tenerse en cuenta una mayor o menor diversidad de colectivos de evaluadores. No obstante el proceso sería análogo al aquí presentado.

Los empleados serán evaluados por los diferentes colectivos atendiendo a  $p$  criterios diferentes y establecidos por la compañía,  $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$ .

### 3.1.2. Recolección de la Información

En esta fase, nos disponemos a recopilar la información procedente de los distintos colectivos con los que contamos:

Las opiniones procedentes de los diferentes miembros de los colectivos de evaluadores  $a_i \in A$ ,  $b_i \in B$  y  $c_i \in C$  sobre el empleado  $x_j$  respecto del criterio  $Y_k$  son denotadas por  $a_j^{ik}$ ,  $b_j^{ik}$ ,  $c_j^{ik}$ , donde

- $a_j^{ik}$  es la opinión del supervisor  $a_i$  sobre el empleado  $x_j$  de acuerdo al criterio  $Y_k$ .
- $b_j^{ik}$  es la opinión del colaborador o compañero  $b_i$  sobre el empleado  $x_j$  de acuerdo al criterio  $Y_k$ .
- $c_j^{ik}$  es la opinión del cliente o subordinado  $c_i$  sobre el empleado  $x_j$  de acuerdo al criterio  $Y_k$ .

Además,  $x_j^{jk}$  es la opinión del empleado  $x_j$  sobre sí mismo respecto del criterio  $Y_k$ . De esta manera, se dispondrá de  $(r + s + t + 1)p$  opiniones para cada empleado procedentes de los diferentes colectivos e incluyendo la opinión que cada empleado tiene sobre sí mismo.

### 3.1.3. Fase de Agregación de la Información

Las empresas necesitan modelos de evaluación del desempeño que sean capaces de ofrecer resultados entendibles e interpretables por los responsables del Departamento de Recursos Humanos [22]. Debido a la importancia de esta necesidad establecida por las empresas se incorporan procesos de agregación multi-etapas que faciliten la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación, atendiendo a los diferentes colectivos de evaluadores involucrados en el proceso, como a los criterios considerados.

A continuación se presentan detalladamente cada una de las etapas de la de agregación:

- **Fase 1 : Cálculo de las evaluaciones colectivas para cada criterio**

En esta primera etapa del proceso de agregación se computan las primeras valoraciones para los empleados utilizando la información facilitada por los diferentes colectivos. En concreto se calculan para cada colectivo, cada criterio  $Y_k$  y cada empleado evaluado  $x_j$  las siguientes valoraciones agregadas (véase la tabla 3.1).

- Supervisores

$$v_A^k(x_j) = AG_A^k(a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk})$$

- Colaboradores o compañeros

$$v_B^k(x_j) = AG_B^k(b_j^{1k}, \dots, b_j^{rk})$$

- Subordinados o clientes

$$v_C^k(x_j) = AG_C^k(c_j^{1k}, \dots, c_j^{rk})$$

$AG$  se denota como un operador genérico que puede variar en función del criterio a evaluar y el colectivo de evaluadores.

Evaluadores	Valoraciones individuales	Valoraciones colectivas
Supervisores	$a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}$	$v_A^k(x_j)$
Compañeros	$b_j^{1k}, \dots, b_j^{rk}$	$v_B^k(x_j)$
Clientes	$c_j^{1k}, \dots, c_j^{rk}$	$v_C^k(x_j)$

Tabla 3.1: Valoraciones colectivas para cada criterio

■ **Fase 2 : Cálculo de las evaluaciones globales para cada criterio**

En esta segunda fase del proceso de agregación, las valoraciones obtenidas en la fase anterior son agregadas para cada criterio. De esta manera se obtiene una valoración global para cada criterio  $Y_k$  y para cada empleado  $x_j$  (véase la tabla 3.2) .

$$v^k(x_j) = AG^k(v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j))$$

Valoraciones colectivas	Valoraciones globales por criterio
$v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j)$	$v^k(x_j)$

Tabla 3.2: Valoraciones globales para cada criterio

Aunque, inicialmente, la opinión del empleado evaluado sobre sí mismo se incluye en esta etapa del proceso de agregación, ésta es tenida en cuenta de distinta manera en función del operador de agregación que se utilice en el proceso.

■ **Fase 3 : Cálculo de la evaluación global**

La evaluación global para cada empleado se obtiene agregando las valoraciones globales de los diferentes criterios correspondientes a dicho empleado, obtenidas en la fase anterior (véase la tabla 3.3).

$$v^k(x_j) = AG(v^1(x_j), \dots, v^p(x_j))$$

Valoraciones globales por criterio	Valoraciones globales
$v^1(x_j), \dots, v^p(x_j)$	$v(x_j)$

Tabla 3.3: Valoraciones globales

Es de consideración que el operador de agregación utilizado por la empresa puede ser diferente para cada etapa, incluso para cada colectivo y/o criterio.



### 3.1.4. Clasificación de los Empleados

A partir de las valoraciones globales obtenidas para cada empleado, se procederá a la clasificación y ordenación de los empleados atendiendo a diferentes procedimientos y teniendo en cuenta los objetivos fijados por el Departamento de Recursos Humanos.

## 3.2. Modelo de Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basado en Jerarquías Lingüísticas Extendidas

El modelo de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas [2] que vamos a revisar es el modelo que implementa nuestra propuesta está basado en las jerarquías lingüísticas extendidas[31]. Dicho modelo de evaluación vence las limitaciones de modelos anteriores [3], ya que proporciona una mayor flexibilidad a la hora de ofrecer las escalas lingüísticas a utilizar y mantiene la precisión en los procesos computacionales. A continuación se muestra el esquema de evaluación de este modelo que extiende el esquema básico (ver figura 3.2) tal y como muestra la figura 3.3, cada una de las fases de este modelos es detallada a continuación.

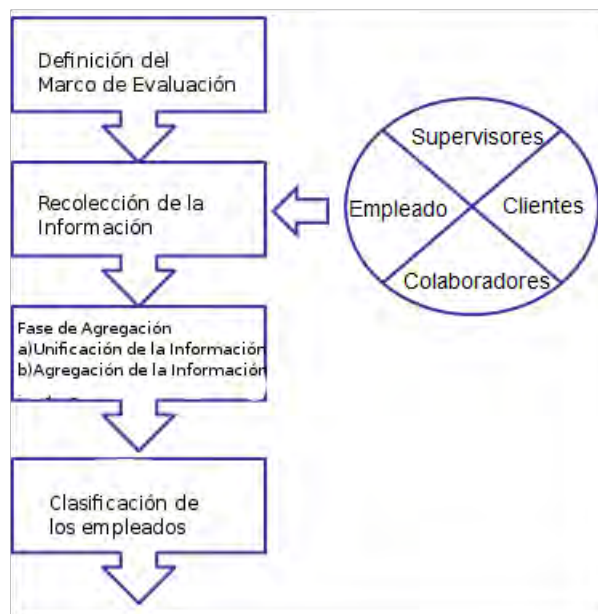


Figura 3.3: Modelo de Evaluación del Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas, basado en ELH

1. Definición del marco de evaluación
2. Recolección de la información
3. Fase de agregación de la información
  - *Proceso de unificación de la información.*
  - *Agregación de la información.*
4. Clasificación de los empleados

La fase de agregación de la información es la que se modifica en mayor medida debido al uso de información lingüística multigranular. Dicho hecho obliga a unificar la información antes de operar sobre ella, ya que no podemos operar con información que se encuentra expresada en diferentes escalas lingüísticas.

### 3.2.1. Definición del Marco de Evaluación

El proceso de Evaluación de Desempeño de 360 grados mide el esfuerzo y eficiencia de los trabajadores teniendo en cuenta la opinión de diferentes colectivos relacionados con el empleado a evaluar, incluyendo la opinión de cada empleado sobre sí mismo. Tal y como se ha mencionado anteriormente, los miembros de los diferentes colectivos, normalmente, poseen diferente grado de conocimiento sobre el empleado a evaluar. Debido a este hecho, para mejorar el proceso de evaluación, se considera imprescindible permitir a los diferentes colectivos utilizar la escala lingüística más adecuada para realizar las valoraciones en función de sus conocimientos.

Para introducir la construcción del marco de evaluación, suponemos una empresa que desea llevar a cabo un proceso de evaluación de desempeño 360 grados sobre un conjunto de  $n$  trabajadores  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  evaluando  $p$  criterios  $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$  y teniendo en cuenta la opinión de los siguientes colectivos:

- $A = \{a_1, \dots, a_r\}$ : El conjunto de  $r$  supervisores.
- $B = \{b_1, \dots, b_s\}$ : El conjunto de  $s$  colaboradores.
- $C = \{c_1, \dots, c_t\}$ : El conjunto de  $t$  clientes.
- $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ : El conjunto de  $n$  empleados objeto de evaluación..

Como se ha comentado anteriormente, el modelo 360 grados incluye aquellos colectivos que tienen una relación vinculante con el empleado evaluado, si existieran más colectivos de los mencionados se incluirían.

Posteriormente, son fijadas las escalas lingüísticas que utilizará cada colectivo para valorar al conjunto de empleados.

- La granularidad de la escala lingüística que utilizarán los *supervisores* para valorar al empleado es  $n(t_A)$ , siendo el nivel que contiene este conjunto de términos lingüísticos  $t_A$ . De este modo, la valoración lingüística del supervisor  $i$  sobre el empleado  $j$  del criterio  $k$  es notado como  $a_j^{ik} \in S_A^{n(t_A)}$  para cada  $i \in \{1, \dots, r\}$ ,  $j \in \{1, \dots, n\}$  y  $k \in \{1, \dots, p\}$ .
- La granularidad de la escala lingüística que utilizará los *colaboradores* para valorar al empleado es  $n(t_B)$ , siendo el nivel que contiene este conjunto de términos lingüísticos  $t_B$ . De este modo, la valoración lingüística del colaborador  $i$  sobre el empleado  $j$  del criterio  $k$  es notado como  $b_j^{ik} \in S_B^{n(t_B)}$  para cada  $i \in \{1, \dots, r\}$ ,  $j \in \{1, \dots, n\}$  y  $k \in \{1, \dots, p\}$ .
- La granularidad de la escala lingüística que utilizará los *clientes* para valorar al empleado es  $n(t_C)$ . De este modo, la valoración lingüística del cliente  $i$  sobre el empleado  $j$  del criterio  $k$  es notado como  $c_j^{ik} \in S_C^{n(t_C)}$  para cada  $i \in \{1, \dots, r\}$ ,  $j \in \{1, \dots, n\}$  y  $k \in \{1, \dots, p\}$ .
- Finalmente, la granularidad de la escala lingüística que utilizarán los *empleados* objeto de evaluación para valorarse a sí mismos es  $n(t_X)$ . De este modo, la valoración lingüística del empleado  $i$  sobre sí mismo del criterio  $k$  es notado como  $x_j^{ik} \in S_X^{n(t_X)}$ .

El modelo de evaluación presentado en [2] maneja la información lingüística multigranular con la estructura de las jerarquías lingüísticas extendidas (ELH), revisada en esta memoria en la sección 2.3. Por tanto, una vez que hayan sido fijadas las escalas lingüísticas es construida la *ELH* que es la unión de todos los niveles usados por los colectivos y un nuevo nivel con la siguiente granularidad:

$$n(t') = m.c.m\{n(t_A) - 1, n(t_B) - 1, n(t_C) - 1, n(t_X) - 1\} + 1$$

donde *m.c.m* es el *Mínimo común múltiplo*.

Por tanto, la *ELH* está formada por los siguientes niveles:

$$ELH = \bigcup_{t=1}^{t=m+1} \left\{ \begin{array}{l} l(t_A, n(t_A)) \\ l(t_B, n(t_B)) \\ l(t_C, n(t_C)) \\ l(t_X, n(t_X)) \\ l(t', n(t')) \end{array} \right\}.$$

### 3.2.2. Recolección de la Información

Una vez que el marco de evaluación ha sido fijado, cada evaluador proporciona sus opiniones sobre el conjunto de empleados evaluados en la escala lingüística fijada en la etapa anterior mediante un vector de utilidad.

El dominio de expresión del vector de utilidad de cada evaluador dependerá del colectivo al que pertenezca:

- Supervisores:

$$A^i = \{a_1^{i1}, \dots, a_p^{i1}, \dots, a_1^{in}, \dots, a_p^{in}\}$$

donde  $a_{jk}^i \in S_A^{n(t_A)}$  es la valoración del criterio  $k$ , del trabajador evaluado  $j$ , por el supervisor  $i$ , en la escala lingüística  $S_A^{n(t_A)}$ .

- Colaboradores:

$$B^i = \{b_1^{i1}, \dots, b_p^{i1}, \dots, b_1^{in}, \dots, b_p^{in}\}$$

donde  $b_{jk}^i \in S_B^{n(t_B)}$  es la valoración del criterio  $k$ , del trabajador evaluado  $j$ , por el colaborador  $i$ , en la escala lingüística  $S_B^{n(t_B)}$ .

- Clientes:

$$C^i = \{c_1^{i1}, \dots, c_p^{i1}, \dots, c_1^{in}, \dots, c_p^{in}\}$$

donde  $c_{jk}^i \in S_C^{n(t_C)}$  es la valoración del criterio  $k$ , del trabajador evaluado  $j$ , por el colaborador  $i$ , en la escala lingüística  $S_C^{n(t_C)}$ .

- Empleado:

$$X^i = \{x_1^i, \dots, x_p^i\}$$

donde  $x_k^i \in S_X^{n(t_X)}$  es la valoración del trabajador evaluado  $i$  sobre sí mismo del criterio  $k$ , en la escala lingüística  $S_X^{n(t_X)}$ .

### 3.2.3. Fase de Agregación

El objetivo de la fase de agregación consiste en obtener un valor global para cada empleando que englobe la opinión de todos los evaluadores.

Así, para operar sobre la información contenida en la *ELH*, primero la información proporcionada por los evaluadores debe de ser representada en 2-tupla lingüística (ver Comentario 1):

$$H_- : S_-^{n(t_-)} \longrightarrow \bar{S}_-^{n(t_-)} \text{ donde} \\ \bar{v}_j^{ik} = H_-(v_j^{ik}) \in \bar{S}_-^{n(t_-)}.$$

representado el símbolo  $_-$  los diferentes colectivos,  $\{A, B, C, X\}$ .

Una vez que la información está expresada en 2-tuplas, el proceso de agregación es un proceso de computación con palabras que en el modelo de evaluación 360 grados con múltiples escalas lingüísticas sigue el esquema computacional de la *ELH* revisado en la sección 2.3.2. A continuación, se detallan los distintos procesos de la fase de agregación, tal y como se ilustró en la figura 3.3.

#### 3.2.3.1. Unificación de la Información Multigranular

Los vectores de utilidad proporcionados por los evaluadores en la fase anterior se encuentran valorados en distintos niveles de la *ELH*. Para poder operar sobre ellos, hay que unificar dicha información en un único dominio de expresión, este nivel será el último nivel de la *ELH*. Así, la función de transformación entre niveles  $TF_o^d$  (ver Definición 2.3) es aplicada sobre los vectores de utilidad de los evaluadores como sigue:

$$TF_{t_-}^{t'} : \bar{S}_-^{n(t_-)} \longrightarrow \bar{S}^{n(t')}, \text{ donde} \\ TF_{t_-}^{t'}(\bar{v}_j^{ik}) = (s_j^{n(t')}, \alpha_j) \in \bar{S}^{n(t')}.$$

De esta manera, toda la información procedente de los diferentes colectivos (supervisores, colaboradores, clientes y empleados) ha sido unificada en 2-tuplas en el nivel  $t'$  de la *ELH*.

#### 3.2.3.2. Agregación de la información

Llegado a este punto, para obtener las valoraciones de los candidatos evaluados, debemos agregar la información unificada. Para ello es utilizado el modelo computacional basado en 2-tuplas.

- **Fase 1 : Cálculo de las evaluaciones colectivas para cada criterios**

Las valoraciones del criterio,  $Y_k$ , son agregadas por medio de un operador de agregación, que genéricamente representamos por *AG*, y que dependerá de cada problema:

- Supervisores:

$$\bar{v}_A^k(x_j) = AG(\bar{a}_j^{1k}, \dots, \bar{a}_j^{rk}).$$

donde  $\bar{v}_A^k(x_j)$  representa la valoración global de los supervisores del candidato  $x_j$  sobre el criterio  $k$ .

De modo similar para el resto de colectivos:

- Colaboradores:

$$\bar{v}_B^k(x_j) = AG(\bar{b}_j^{1k}, \dots, \bar{b}_j^{rk}).$$

- Clientes:

$$\bar{v}_C^k(x_j) = AG(\bar{c}_j^{1k}, \dots, \bar{c}_j^{rk}).$$

- Empleado:

$$\bar{v}_X^k(x_j) = \bar{x}_j$$

■ **Fase 2 : Cálculo de las evaluaciones globales para cada criterio**

En esta segunda fase del proceso de agregación, las valoraciones obtenidas para colectivo en la fase anterior son agregadas para cada criterio.

$$\bar{v}^k(x_j) = AG(\bar{v}_A^k(x_j), \bar{v}_B^k(x_j), \bar{v}_C^k(x_j), \bar{v}_X^k(x_j))$$

■ **Fase 3 : Cálculo de la evaluación global**

La evaluación global para cada empleado se obtiene agregando las valoraciones globales de los diferentes criterios correspondientes a dicho empleado:

$$\bar{v}^k(x_j) = AG(\bar{v}^1(x_j), \dots, \bar{v}^p(\bar{v}_j))$$

Para finalizar esta etapa, cabe notar que el modelo de evaluación basado en las jerarquías lingüísticas extendidas permite expresar los resultados en cualquier escala lingüística fijada en el marco de evaluación. Para conseguir tal fin, la función de transformación entre niveles  $TF_o^d$  (ver Definición 2.3) es aplicada sobre las valoraciones globales de cada candidato,  $\bar{v}^k(x_j)$ .

$$TF_{\mu'}^{t-} : \bar{S}^{n(t')} \longrightarrow \bar{S}_-^{n(t-)}, \text{ donde} \\ TF_{\mu'}^{t-}(\bar{v}^k(x_j)).$$

El departamento de recursos humanos es el encargado de seleccionar el operador de agregación genérico sobre 2-tuplas, dicho operador puede ser el mismo o diferente en función del criterio a evaluar y el colectivo de evaluadores.

#### **3.2.4. Clasificación de los empleados**

En esta fase, se obtienen las clasificaciones y ordenaciones de los resultados obtenidos en la anterior fase. Así, desde el departamento de recursos humanos poseen toda la información para tomar la decisión.

La ordenación y clasificación de los empleados se realiza en función del orden lexicográfico revisado en la sección 2.2. Teniendo en cuenta dicho orden, la empresa podría clasificar y ordenar a sus empleados en función de los resultados obtenidos por los mismos en las diferentes fases del proceso de agregación.

Toda la información obtenida en el proceso de agregación y las clasificaciones y ordenaciones resultantes son fácilmente entendibles por todos los colectivos de evaluadores y podrán ser tenidas en cuenta por la empresa para realizar las diferentes políticas planteadas por el Departamento de Recursos Humanos y así alcanzar los objetivos establecidos por la empresa.





## Capítulo 4

# Aplicación Web para Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basada en ELH

En esta sección, presentamos una aplicación Web que gestiona y automatiza, el proceso de evaluación de desempeño de los trabajadores de una empresa, basada en el modelo de evaluación de desempeño 360 grados con múltiples escalas lingüísticas con ELH, revisado en el capítulo anterior.

La aplicación que presentamos está accesible en la siguiente dirección Web: <http://sinbad2.ujaen.es:8080/edumel>. A continuación, detallamos la arquitectura de la aplicación Web y su funcionamiento.

### 4.1. Arquitectura de la Aplicación

La arquitectura software escogida para el desarrollo de nuestra aplicación es una arquitectura cliente/servidor.

La figura 4.1 muestra gráficamente la estructura de nuestra aplicación. En ella se observa la existencia de varios terminales conectados a un servidor, los cuales pueden realizar diferentes acciones sobre la base de datos (consultas, inserciones o borrados). Debido a la carga computacional y al alto número de accesos a la base de datos se ha optado por utilizar un servidor Apache Tomcat 6 con conexión a una Base de Datos MySql 5. Por otro lado, la implementación de la aplicación se ha desarrollado utilizando el lenguaje etiquetado HTML y JSP para la generación de contenidos dinámicos.

Los requerimientos funcionales de la aplicación y el modelo E-R (Entidad

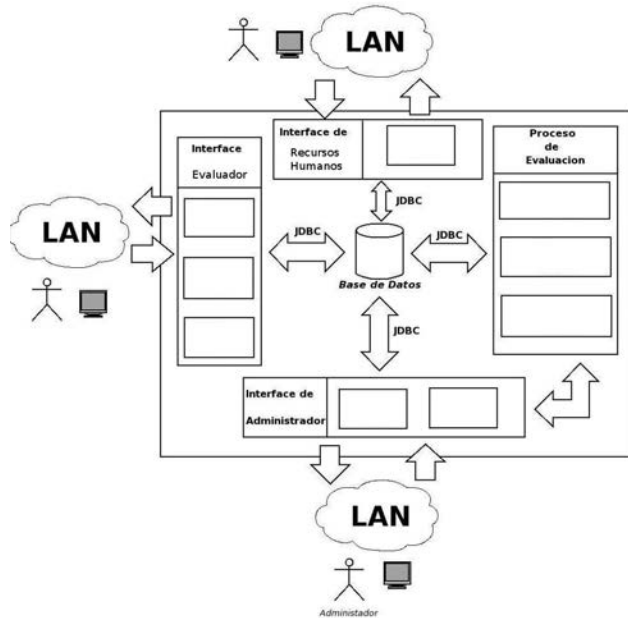


Figura 4.1: Arquitectura Cliente-Servidor

Relación) de la base de datos utilizada, son descritos en el apéndice B

## 4.2. Sistema de Evaluación de Desempeño EDUMEL

EDUMEL (**E**valuación de **D**esempeño **U**sando **M**últiples **E**scalas **L**ingüísticas) es el sistema de evaluación que implementa el modelo de evaluación de desempeño 360-grados con múltiples escalas lingüísticas basado en ELH, revisado en el capítulo 3. En esta sección, mostramos el funcionamiento de dicho sistema, siguiendo el esquema de evaluación de la figura 3.2, compuesto por las siguientes fases:

- Definición del Marco de Evaluación
- Recolección de la información
- Agregación de la información
- Clasificación de los empleados

### 4.2.1. Definición del Marco de Evaluación

En el marco de evaluación son definidos todos los elementos que intervienen en el proceso de evaluación de desempeño. Tal definición es realizada

por un usuario con el rol *administrador*, el cual gestiona usuarios, departamentos, indicadores, encuestas y evaluaciones.

Inicialmente cuando un administrador accede a EDUMEL, le aparece la pantalla inicial que aparece reflejada en la figura 4.2:

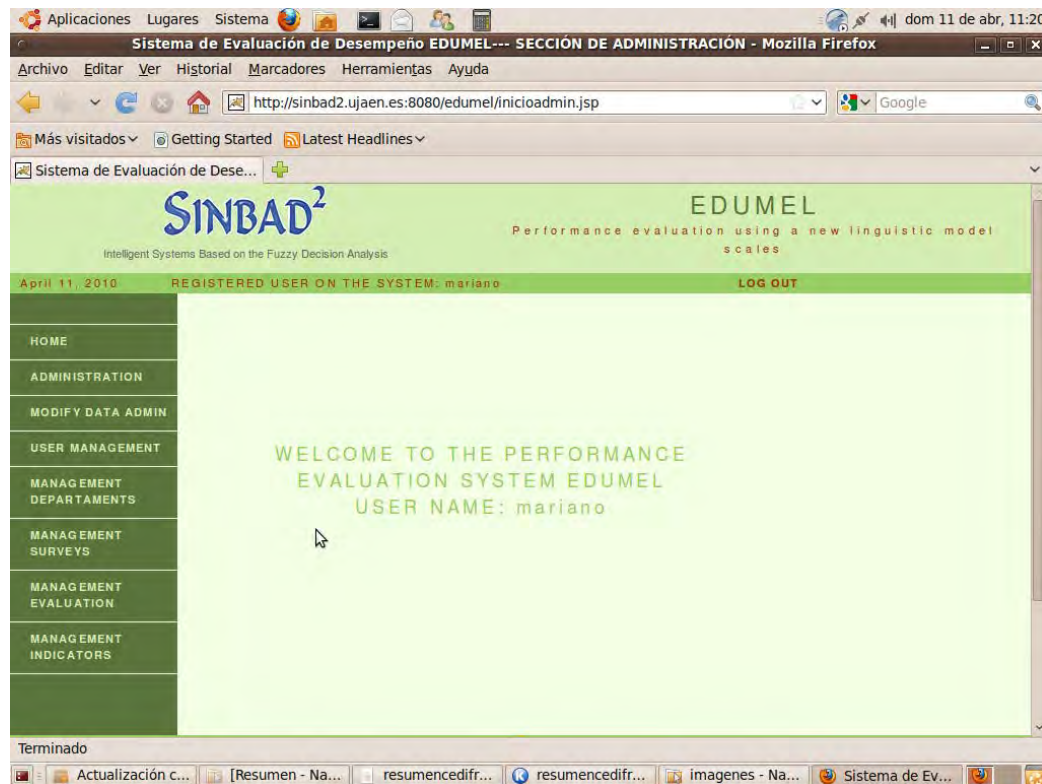


Figura 4.2: Pantalla Principal para los Administradores del Sistema

El administrador es el usuario más importante del sistema, ya que puede gestionar los usuarios del mismo (dar de alta, modificar, eliminar), los departamentos, los indicadores a incluir en las encuestas, las encuestas y por último las evaluaciones a realizar.

El administrador realiza la “Definición del marco de evaluación”. Esto implica las siguientes actividades:

- I. Definición de indicadores a evaluar
- II. Diseño de encuestas

#### I. Definición de indicadores:

Como hemos indicado, en el primer paso para definir el marco de evaluación de un proceso de evaluación de desempeño, el administrador debe definir los indicadores que serán evaluados por cada empleado.

La figura 4.3 muestra la interfaz de creación de indicadores donde se definen las escalas lingüísticas para valorar dicho indicador. Para cada escalas se definen los términos lingüísticos que la componen.

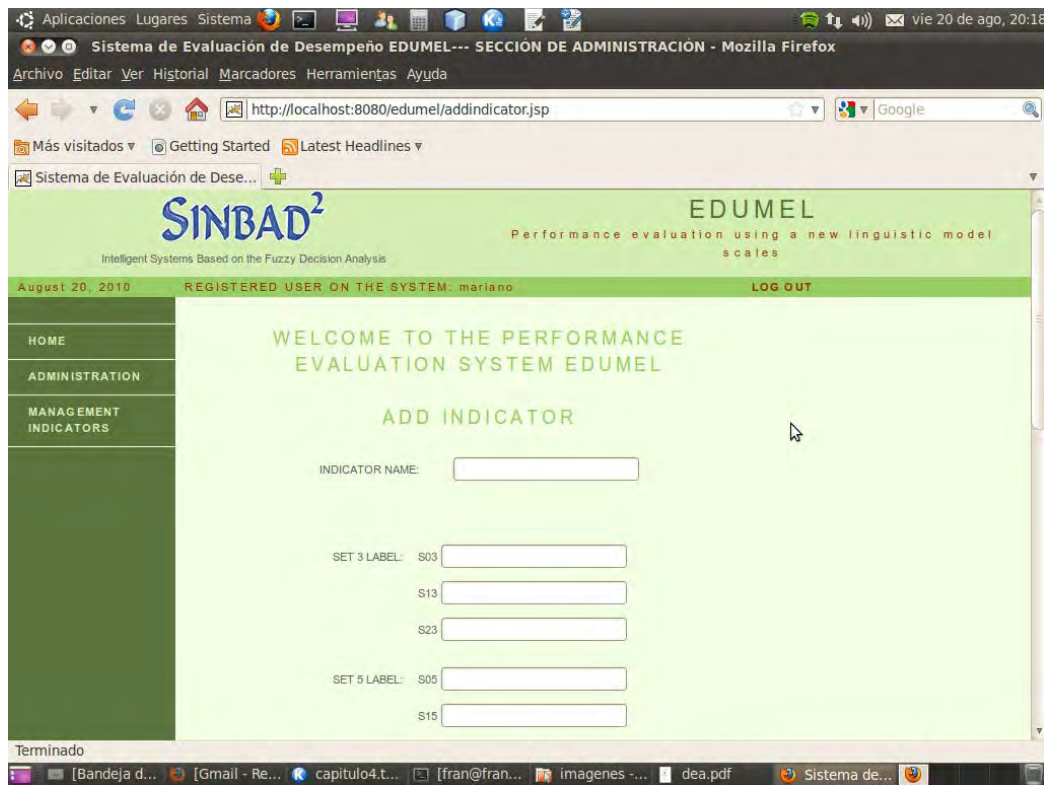


Figura 4.3: Crear un nuevo indicador

EDUMEL permite al administrador realizar una gestión total de indicadores (alta, baja, modificaciones, consulta), según las necesidades de cada problema.

## II. Diseño de encuestas

La evaluación de desempeño se realiza mediante encuestas complementadas por los evaluadores. Por tanto, el administrador debe definir una encuesta para cada problema (aunque se pueden reutilizar); para ello incluirá, de entre los indicadores definidos anteriormente, los más adecuados al problema en cuestión.

En la figura 4.4 podemos observar el interfaz para el proceso de creación de una encuesta que define el marco de evaluación del problema.

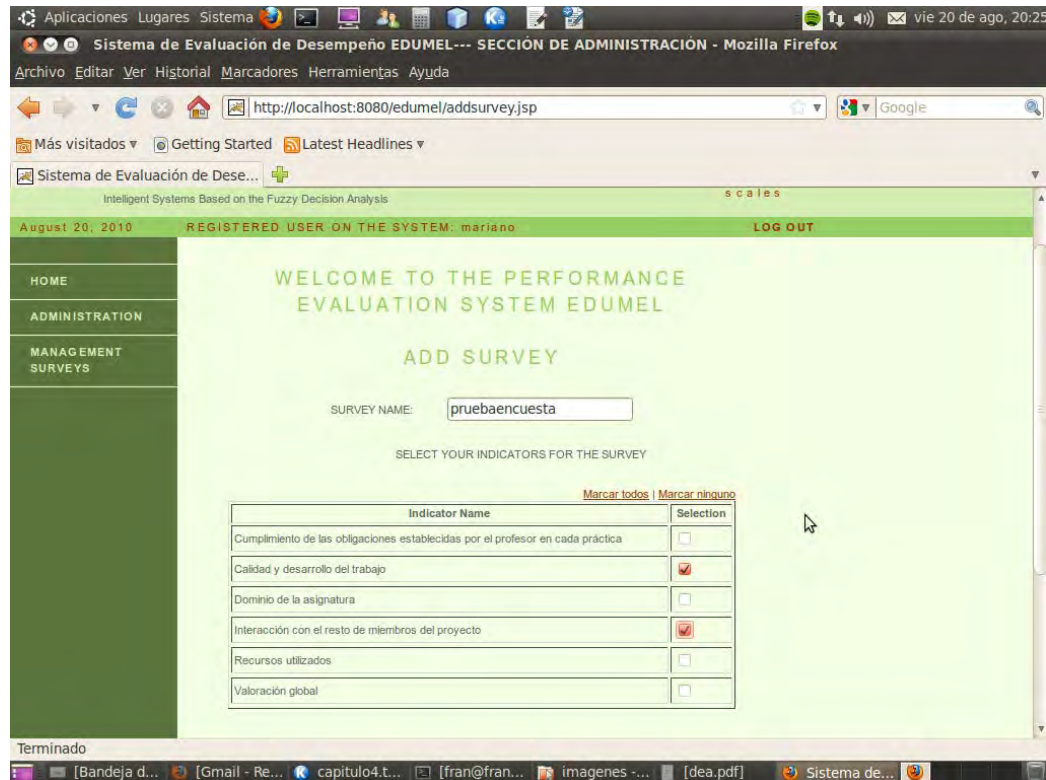


Figura 4.4: Crear una nueva encuesta

Una vez que hemos definido el marco de evaluación, a utilizar en el problema de evaluación de desempeño se tendrá que recopilar información selectiva del problema. Dicho proceso se explicita en la siguiente sección.

### 4.2.2. Recolección de la Información

Esta fase del proceso de evaluación es realizada por los evaluadores involucrados en dicha evaluación, pero para que se pueda recopilar dicha información, es necesario realizar las siguientes actividades por parte de los siguientes tipos de usuarios:

- I. Gestión de evaluadores (Administrador)
- II. Gestión de departamentos y asignación de evaluadores (Administrador)
- III. Gestión de evaluaciones (Administrador)
- IV. Elicitar valoraciones (Evaluador)

A continuación detallamos cada una de estas actividades en mayor detalle:

#### I. Gestión de evaluadores (Administrador):

Todo proceso de evaluación será realizado por un conjunto de evaluadores, que serán usuarios de EDUMEL. Para ello, el administrador tiene capacidad de gestión para dar de alta, modificar y eliminar en cualquier momento un evaluador. En la figura 4.5, podemos ver el interfaz para el alta de evaluadores. El resto de funciones de gestión de evaluadores tiene una interfaz análoga

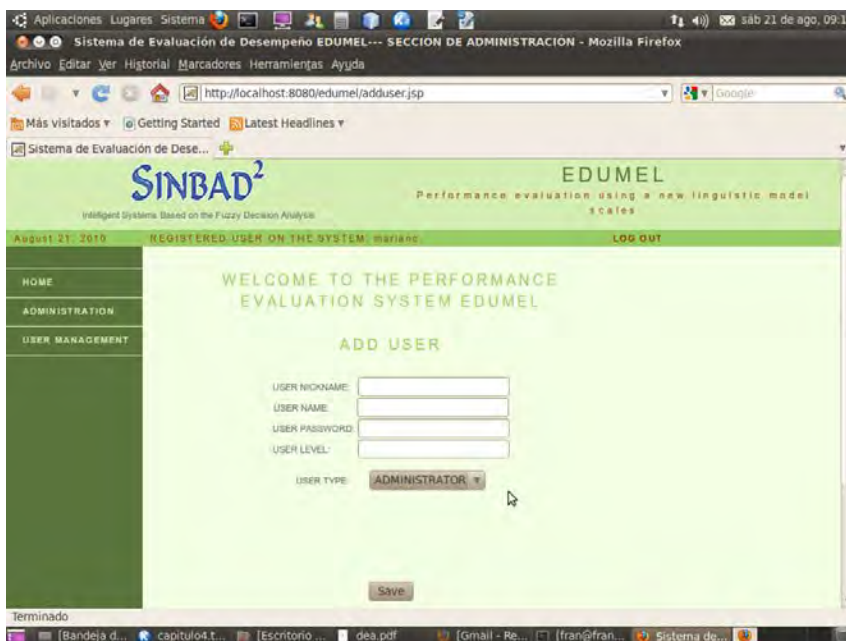


Figura 4.5: Crear un nuevo usuario



## II. Gestión de departamentos y asignación de evaluadores (Administrador):

Una vez definidos los usuarios del sistema, debemos encuadrar cada usuario en su departamento dentro de la empresa. Al igual que la gestión de usuarios, la gestión de departamentos también engloba el alta, modificación y eliminación de los mismos. En la figura 4.6 podemos ver como el administrador da de alta un departamento en el sistema, señalando sus trabajadores y supervisores.

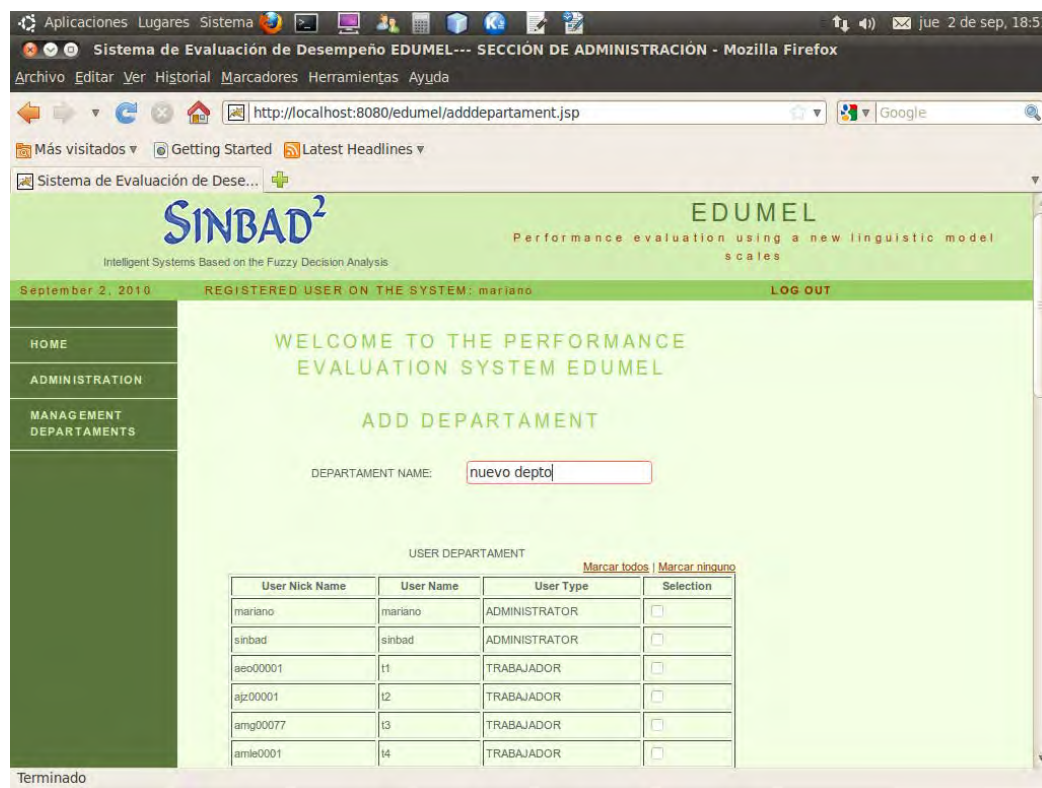


Figura 4.6: Crear un nuevo departamento

## III. Gestión de evaluaciones (Administrador):

Una vez que tenemos definido el marco de evaluación y habiendo usuarios en el sistema que puedan actuar como evaluadores, se está en disposición de realizar la creación de una evaluación.

Existen dos tipos de evaluación: evaluación ordinaria y evaluación de promoción. En la evaluación ordinaria se evalúa el desempeño de los empleados; la evaluación de promoción, tiene como fin, obtener una valoración para promocionar a un empleado a un puesto determinado. En función del tipo de evaluación y según el empleado evaluado,

el sistema automáticamente selecciona el conjunto de evaluadores del empleado, permitiendo añadir o eliminar manualmente algún evaluador a dicho conjunto. El último paso para definir la evaluación es asociar la encuesta, anteriormente diseñada, para recoger las valoraciones de los evaluadores.

En la figura 4.7 se muestra un ejemplo de diseño de una evaluación.

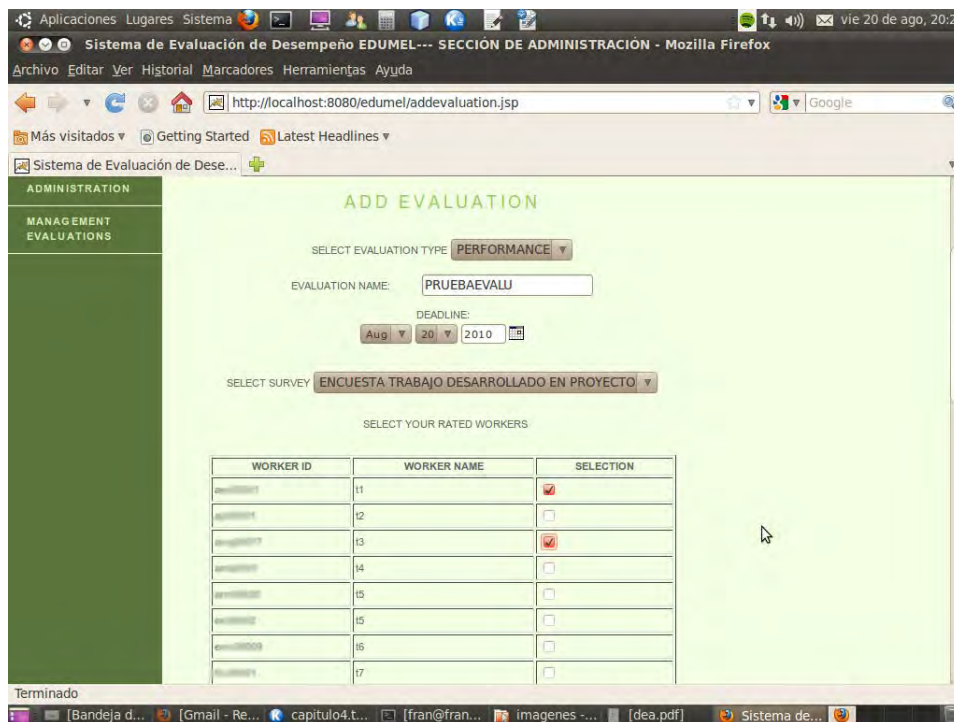


Figura 4.7: Crear una nueva evaluación

Por otro lado, el administrador puede imponer una fecha límite para recolectar la información, es decir, puede fijar una fecha en la que las evaluaciones serán cerradas y los evaluadores no podrán ni insertar ni modificar sus valoraciones, tan sólo podrán visualizar el contenido de las encuestas.

#### IV. Elicitar valoraciones (Evaluador):

Terminado el proceso de administración, para la gestión de evaluaciones, necesitamos recoger la información sobre la evaluación previamente definida. Para ello cada evaluador se identificara en el sistema y así accederá a la pantalla con todas sus evaluaciones (abiertas o cerradas). Podemos ver un ejemplo de dicha pantalla en la figura 4.8 que se muestra a continuación:



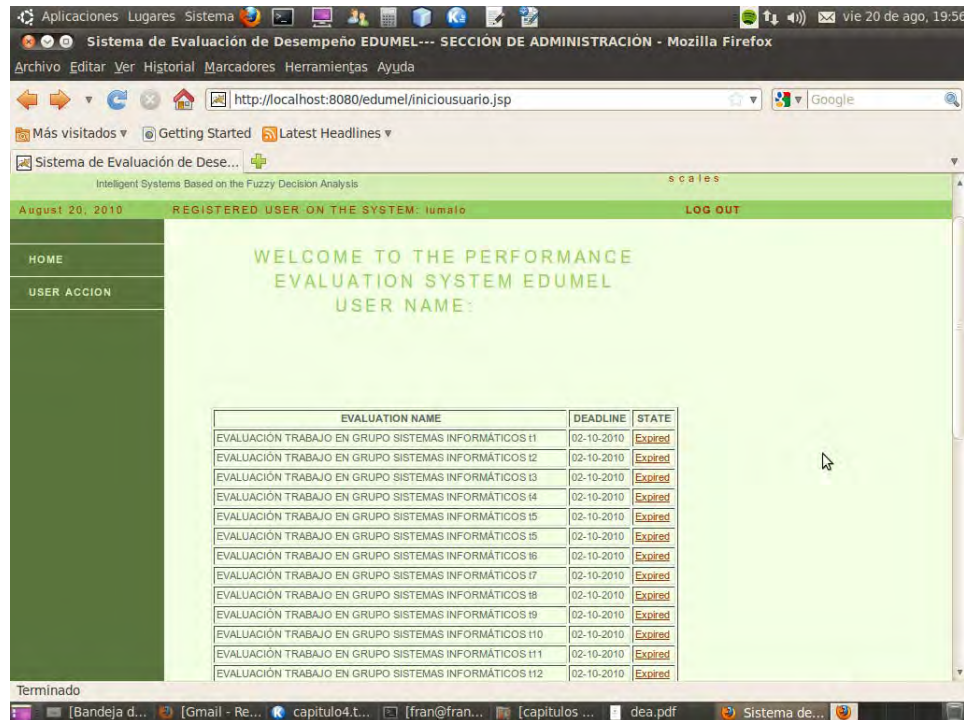


Figura 4.8: Pantalla principal para un evaluador

El sistema muestra a cada evaluador una encuesta por cada empleado, sobre el cual tiene emitir su opinión. Según el conocimiento sobre el evaluado, el sistema muestra automáticamente la escala lingüística apropiada para completar la encuesta.

Las evaluaciones que muestra el sistema, se clasifican en evaluaciones en curso (abiertas) y en evaluaciones expiradas (cerradas). Mientras las evaluaciones están abiertas, el evaluador puede insertar sus valoraciones, o modificar las existentes si ya las hubiera insertado con anterioridad (ver figura 4.9). Cuando el evaluador cierra la evaluación, el sistema tan solo podrá mostrar las valoraciones realizadas, no pudiendo el evaluador, modificar las valoraciones. En la figura 5.6 se muestra un ejemplo de valoración de un empleado.

http://localhost:8080/edumel/editapuntuarevaluacion.jsp?id=

Más visitados ▾ Getting Started Latest Headlines ▾

Sistema de Evaluación de Dese... +

April 24, 2009 REGISTERED USER ON THE SYSTEM:

HOME

USER ACCION

## EVALUADO

Cumplimiento de las obligaciones establecidas por el profesor en cada práctica.

Nulo  Muy Bajo  Bajo  Medio  Alto  Muy Alto  Perfecto

Calidad y desarrollo del trabajo

Nula  Muy Baja  Baja  Media  Alta  Muy Alta  Perfecta

Dominio de la asignatura.

Nulo  Muy Bajo  Bajo  Medio  Alto  Muy Alto  Perfecto

Interacción con el resto de miembros del proyecto

Nula  Muy Baja  Baja  Media  Alta  Muy Alta  Perfecta

Figura 4.9: Puntuación de una evaluación

### 4.2.3. Fase de Agregación de la Información

Una vez definido el marco de evaluación y recopilada toda la información, nos disponemos a realizar los procesos computacionales necesarios, para realizar la fase de agregación de la información.

Los encargados de realizar esta fase son los usuarios con rol de recursos humanos, pues ellos son los que se servirán de los resultados para interpretarlos y tomar decisiones.

En la figura 4.10 se muestra una pantalla principal del acceso identificado como usuario de recursos humanos:

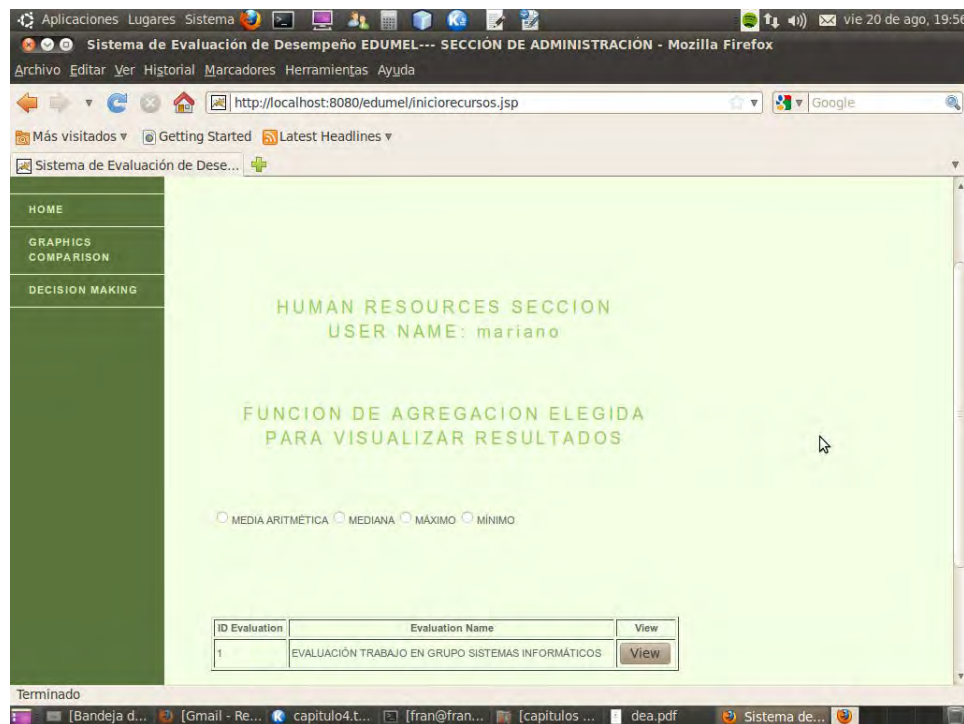


Figura 4.10: Pantalla principal del usuarios de Recursos Humanos

La fase de agregación de la información se divide en 2 subfases, siguiendo el esquema definido en el capítulo 3, aunque realmente en nuestra aplicación estas 2 subfases son transparentes para el usuario, pues se realizan juntas a la hora de obtener los resultados:

- Unificación de la información
- Agregación de la información

#### 4.2.3.1. Unificación de la Información

En primer lugar, dentro del proceso de agregación que sigue nuestra aplicación, se procede a unificar toda la información en la misma escala de términos lingüísticos de la ELH, en concreto en el nivel  $l(t', n(t'))$ . Este es un proceso totalmente transparente para el usuario de recursos humanos.

#### 4.2.3.2. Agregación de la Información

El usuario con el rol de recursos humanos, debe escoger un operador para agregar la información. Actualmente, el sistema cuenta con los siguientes operadores de agregación 2-tupla lingüística: máximo, mínimo, media aritmética y mediana (ver figura 4.11).

FUNCION DE AGREGACION ELEGIDA  
PARA VISUALIZAR RESULTADOS

MEDIA ARITMETICA  MEDIANA  MÁXIMO  MÍNIMO

ID Evaluation	Evaluation Name	Global Values for employees	Global Values for Indicators
1	EVALUACIÓN TRABAJO EN GRUPO SISTEMAS INFORMATICOS	Empleados	Indicadores

Figura 4.11: Elección de la función de agregación

Una vez seleccionado el operador de agregación, son realizados los procesos computacionales descritos en el capítulo 3 sobre unificación y agregación, para obtener los resultados de cada empleado. El sistema permite modificar el tipo de operador y, por lo tanto, recalcular todas las valoraciones, en función de los intereses del departamento de recursos humanos.

#### 4.2.4. Clasificación de Empleados

Una vez calculada la valoración global de cada empleado, el sistema visualiza la clasificación de los empleados evaluados de acuerdo a su valoración global. Además, el sistema ofrece la posibilidad de establecer la clasificación parcial atendiendo a un indicador o a un colectivo.

La clasificación de los empleados puede ser mostrada en cualquier escala lingüística que compone el marco de evaluación, mediante las funciones de transformación 2-tuplas, para las diferentes escalas lingüísticas que componen la ELH. Además, junto a la clasificación, el sistema muestra gráficas comparativas que permiten reconocer a los empleados con un mayor y menor rendimiento global (ver figura 4.12 y 4.13).

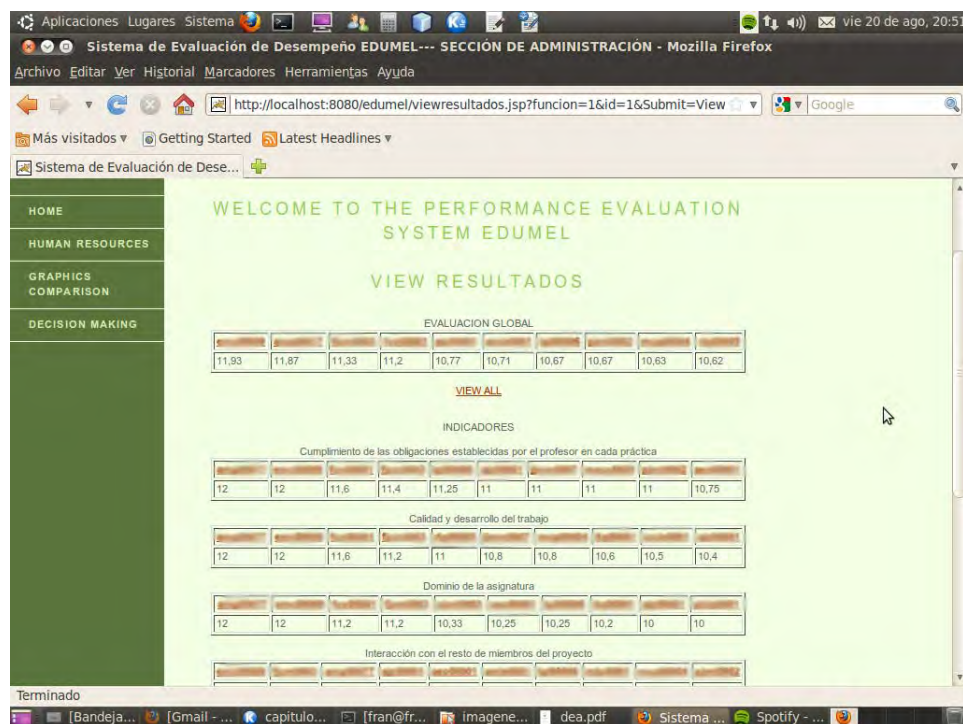


Figura 4.12: Lista clasificatoria

A continuación mostramos un gráfico de barras, también conocido como gráfico de columnas. Es un diagrama con barras rectangulares de longitudes proporcional al de los valores que representan. Los gráficos de barras



son usados para comparar dos o más valores, por eso en nuestra aplicación los utilizamos para mostrar comparaciones globales de todos los empleados evaluados. También pueden utilizarse para hacer comparaciones a nivel de grupo o entre empleados específicos.

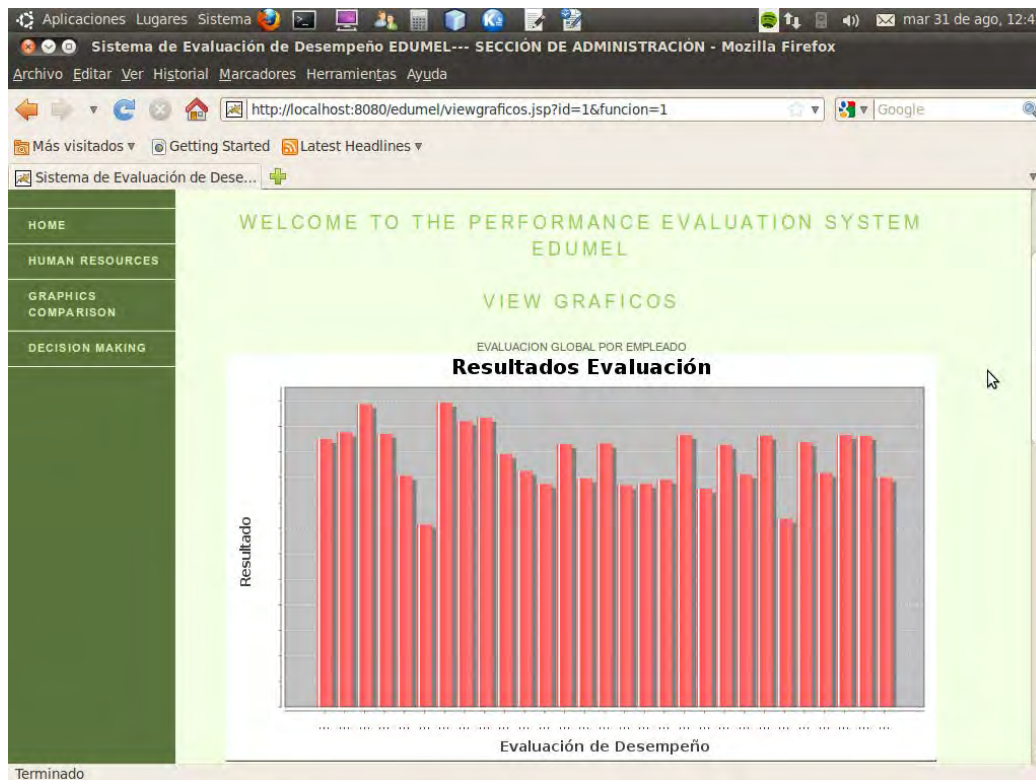


Figura 4.13: Gráfico comparativo de barras

Otro tipo de gráfico que utilizamos en EDUMEL, son los gráficos radiales. Este tipo de representación no permite comparar a nivel de indicador a distintos empleados. Como podemos ver en la figura 4.14, esta representación nos permite ver con facilidad el desempeño en cada indicador del empleado representado y si se comparan varios empleados, aquel que su representación contenga a los demás indicará que es el mejor.

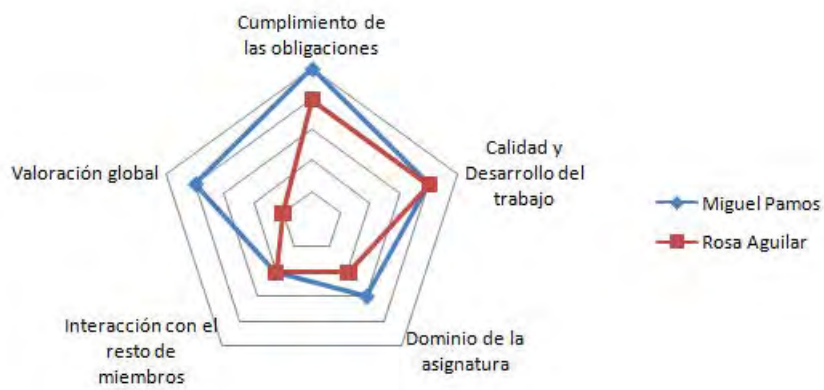


Figura 4.14: Gráfico comparativo radial

*CAPÍTULO 4. APLICACIÓN WEB PARA EVALUACIÓN DE  
DESEMPEÑO 360 GRADOS CON MÚLTIPLES ESCALAS  
LINGÜÍSTICAS BASADA EN ELH*

---



## Capítulo 5

# Caso de Estudio

Este capítulo pretende ejemplificar el uso del sistema de evaluación de desempeño 360-grados con múltiples escalas lingüísticas basado en ELH, EDUMEL (<http://sinbad2.ujaen.es:8080/edumel>), mediante un caso de estudio real.

Dado que esta memoria de investigación se desarrolla en un entorno académico, tomamos la decisión de realizar un ejemplo ilustrativo del uso de EDUMEL, en una asignatura del título de Ingeniería Informática en la que se realizase un trabajo equiparable al realizado en una empresa real.

Para ello seleccionamos la asignatura *Sistemas Informáticos* la cual se imparte en el segundo curso de la titulación superior de Ingeniería Informática de la Universidad de Jaén. En dicha asignatura se introduce a los alumnos los contenidos necesarios para realizar posteriormente su proyecto fin de carrera. Para llevar a cabo dicha presentación se solicita a los alumnos la realización de un mini-proyecto software similar al que realizarán en el proyecto fin de carrera, pero dicho trabajo se realizará en grupos. Cada grupo consistirá en alumnos que asumen distintos roles dentro del proceso de ingeniería software, *analista, programador, jefe proyecto, etc.* Dado que los alumnos pueden asumir distintos roles a lo largo del mini-proyecto no haremos una distinción entre los alumnos y los trataremos a todos como trabajadores del mismo nivel.

En el caso de estudio realizado, se estudió a 28 alumnos agrupados en 7 grupos (había más, pero no todos completaron la evaluación) de cuatro alumnos cada uno. Dichos grupos fueron supervisados por dos profesores de prácticas.

El proceso de evaluación pretendía evaluar una serie de indicadores que mostrasen las competencias alcanzadas y desarrolladas por los alumnos a lo largo de la asignatura. Estos indicadores fueron definidos por los profesores de la asignatura.

Indicar que los resultados de la evaluación realizada no se han tenido en cuenta para la evaluación de los alumnos en la asignatura ya que, se

trataba de un estudio inicial. Aún así, los profesores han podido comprobar que la evaluación realizada por los alumnos daba resultados muy similares a la asignada por ellos mediante modelos clásicos de evaluación, no tanto en cuanto a la valoración como al orden obtenido por los distintos alumnos.

## 5.1. Contexto del Caso de Estudio

El caso de estudio que nos lleva, es la Evaluación del Desempeño de un grupo de alumnos en la asignatura de Sistemas Informáticos de 5º de Ingeniería Informática. Para ello utilizamos la aplicación web definida en el apartado anterior siguiendo los pasos del Modelo de Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basado en ELH.

### 5.1.1. Definición del Marco de Evaluación

El marco de evaluación está definido por 28 alumnos y 2 profesores. Los alumnos están repartidos en 7 grupos de trabajo, por lo que cada grupo de trabajo está formado por 4 alumnos. Cada alumno, cuenta con un supervisor que es el profesor y 3 compañeros que son los alumnos que forman parte de su grupo de trabajo. Por el contexto del problema, en este caso de estudio no se cuenta con la figura cliente.

A continuación mostraremos los pasos seguidos para la definición del marco de evaluación:

- I. Creación de Indicadores
- II. Creación de la encuesta que engloba dichos indicadores

#### I. Creación de Indicadores

El objetivo de esta evaluación es obtener una evaluación del trabajo realizado por cada alumno en su grupo de prácticas, por lo que la evaluación seleccionada es de tipo ordinario. En dicha evaluación son incluidos los 28 alumnos de la asignatura agrupados por departamentos(en nuestro ejemplo grupo de trabajo). Para recoger las valoraciones, el administrador fijó un marco de evaluación en que los profesores utilizan una escala de 5 términos lingüísticos y los alumnos una escala de 7 términos lingüísticos, para valorar los indicadores.

Aquí vemos un ejemplo de una escala creada para el profesor para un indicador concreto en la figura 5.1.

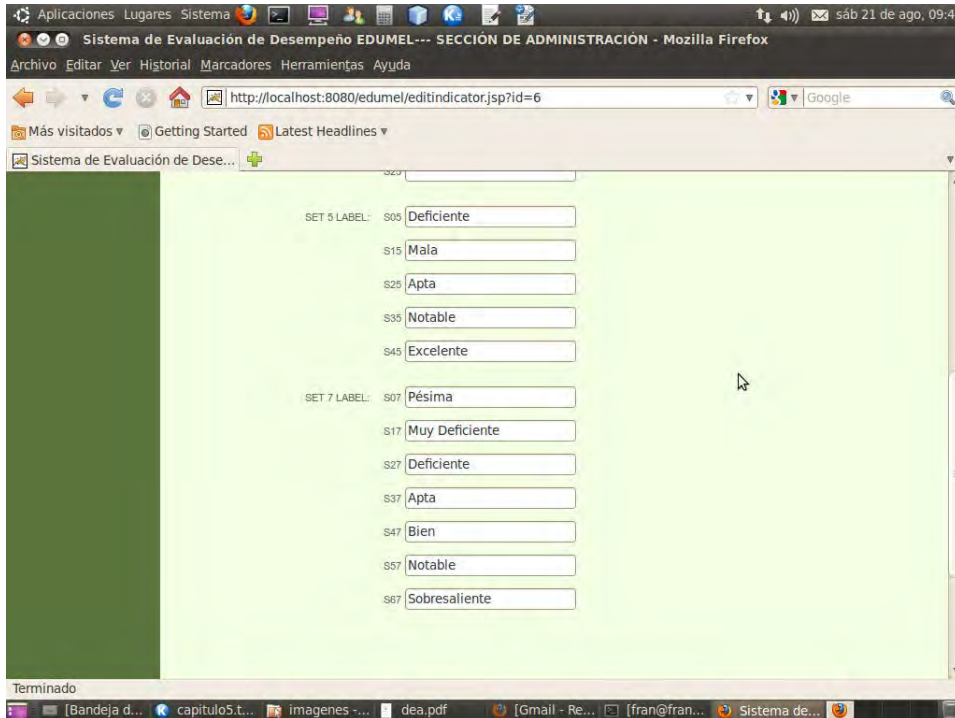


Figura 5.1: Creación de la Escala del profesor para un indicador

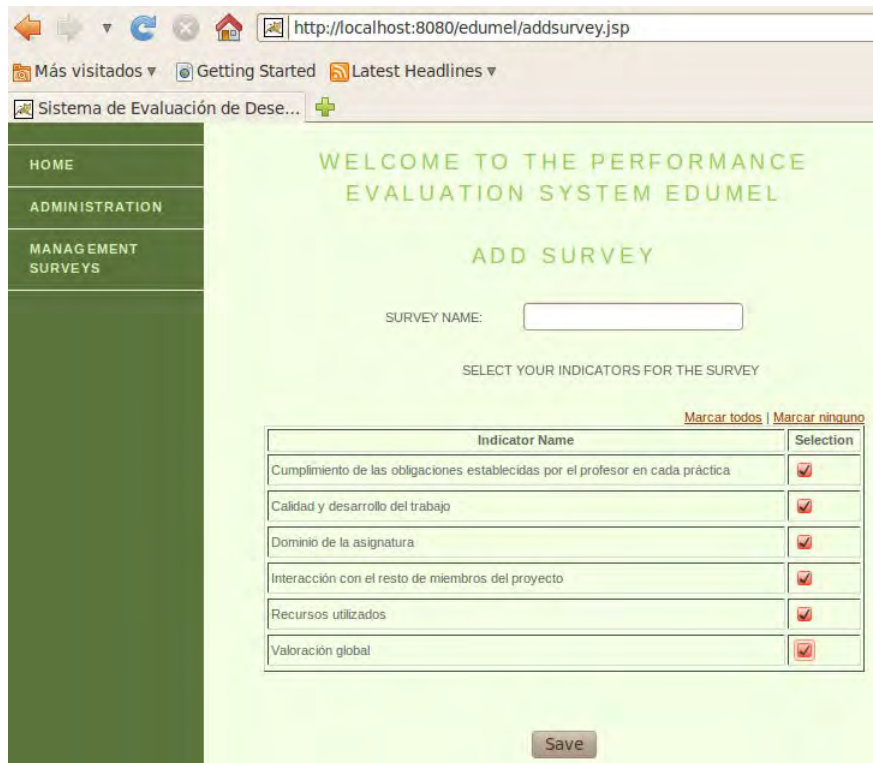
Los indicadores fijados para evaluar a cada alumno son los siguientes:

- Cumplimiento de las obligaciones establecidas por el profesor en cada práctica
- Calidad y desarrollo del trabajo
- Dominio de la asignatura
- Interacción con el resto de miembros del proyecto
- Recursos utilizados
- Valoración global

Dichos indicadores se engloban en la encuesta mostrada en la figura 5.2.

## II. Creación de la encuesta

Tras la creación de los indicadores y las escalas lingüísticas, nos dispusimos a crear una encuesta en la que estuvieran englobados dichos indicadores. Este proceso de creación de una encuesta es bastante sencillo, pues simplemente consiste en añadir a la encuesta los indicadores previamente creados.



WELCOME TO THE PERFORMANCE EVALUATION SYSTEM EDUMEL

ADD SURVEY

SURVEY NAME:

SELECT YOUR INDICATORS FOR THE SURVEY

[Marcar todos](#) | [Marcar ninguno](#)

Indicador Name	Selection
Cumplimiento de las obligaciones establecidas por el profesor en cada práctica	<input checked="" type="checkbox"/>
Calidad y desarrollo del trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>
Dominio de la asignatura	<input checked="" type="checkbox"/>
Interacción con el resto de miembros del proyecto	<input checked="" type="checkbox"/>
Recursos utilizados	<input checked="" type="checkbox"/>
Valoración global	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 5.2: Creación de una encuesta

Una vez que tenemos definido el marco de evaluación, pasamos a realizar la recolección de la información, siguiendo los pasos del esquema descrito en el capítulo 3.

### 5.1.2. Recolección de la Información

Como hemos visto en el capítulo anterior, a la hora de manejar nuestra aplicación y continuando con el esquema propuesto en el capítulo 3, hay que definir los usuarios, los departamentos y la evaluación, para seguidamente poder realizar la recolección de la información que necesitamos.

A continuación mostramos los pasos seguidos hasta llegar a recolectar toda la información necesaria.

- I. Creación de evaluadores y Gestión de departamentos
- II. Creación de la evaluación
- III. Elicitar valoraciones

### I. Creación de evaluadores y Gestión de departamentos

Como se ha comentado previamente a la recolección de información, tuvimos que definir 28 usuarios de tipo trabajador y 1 usuario de tipo supervisor (cada profesor evalúa a sus alumnos, pero con el mismo usuario). Estos 28 usuarios de rol trabajadores fueron repartidos en 7 grupos de 4 personas, que era como se organizaban los grupos de trabajo en la asignatura de Sistemas Informáticos.

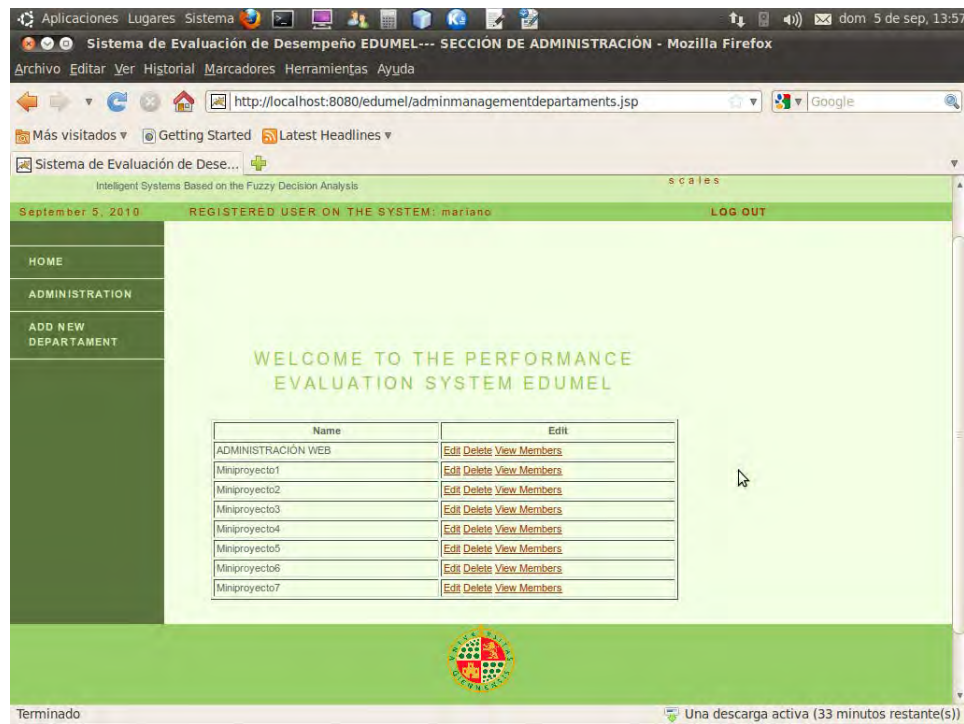
A continuación mostramos en la figura 5.3 una instantánea de la lista de alumnos/trabajadores y el supervisor/profesor:

ID	Nombre	Rol	Acciones
16		TRABAJADOR	Editar Eliminar
17		TRABAJADOR	Editar Eliminar
18		TRABAJADOR	Editar Eliminar
19		TRABAJADOR	Editar Eliminar
110		TRABAJADOR	Editar Eliminar
111		TRABAJADOR	Editar Eliminar
112		TRABAJADOR	Editar Eliminar
113		TRABAJADOR	Editar Eliminar
114		TRABAJADOR	Editar Eliminar
115		TRABAJADOR	Editar Eliminar
116		TRABAJADOR	Editar Eliminar
117		TRABAJADOR	Editar Eliminar
118		TRABAJADOR	Editar Eliminar
119		TRABAJADOR	Editar Eliminar
120		TRABAJADOR	Editar Eliminar
121		TRABAJADOR	Editar Eliminar
122		TRABAJADOR	Editar Eliminar
123		TRABAJADOR	Editar Eliminar
124		TRABAJADOR	Editar Eliminar
125		TRABAJADOR	Editar Eliminar
126		TRABAJADOR	Editar Eliminar
127		TRABAJADOR	Editar Eliminar
128		TRABAJADOR	Editar Eliminar
lumsaló	lumsaló	SUPERVISOR	Editar Eliminar

Figura 5.3: Lista usuarios del sistema

Por temas de protección de datos, los identificadores de los alumnos fueron sustituidos por letras del alfabeto.

También mostramos la lista de grupos de trabajo creada para repartir los alumnos, en la figura 5.4.



The screenshot shows a web browser window displaying the administration interface of the EDUMEL system. The browser's address bar shows the URL `http://localhost:8080/edumel/adminmanagementdepartments.jsp`. The page title is "Sistema de Evaluación de Desempeño EDUMEL--- SECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN - Mozilla Firefox". The interface has a green theme and includes a navigation menu on the left with options like "HOME", "ADMINISTRATION", and "ADD NEW DEPARTMENT". The main content area displays a welcome message and a table of departments. The table has two columns: "Name" and "Edit". The "Edit" column contains links for "Edit", "Delete", and "View Members" for each department. At the bottom of the page, there is a logo of the University of Zaragoza and a status bar indicating "Terminado" and "Una descarga activa (33 minutos restante(s))".

Name	Edit
ADMINISTRACIÓN WEB	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto1	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto2	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto3	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto4	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto5	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto6	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>
Miniproyecto7	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a> <a href="#">View Members</a>

Figura 5.4: Lista departamentos

## II. Creación de la evaluación

Seguidamente se creó la evaluación que sirvió para evaluar el desempeño de los alumnos en el marco de evaluación definido ( tanto los grupos de alumnos, como el profesor como los indicadores, el tipo de encuesta y su fecha de finalización). Dicho ejemplo se puede observar en la figura 5.5.

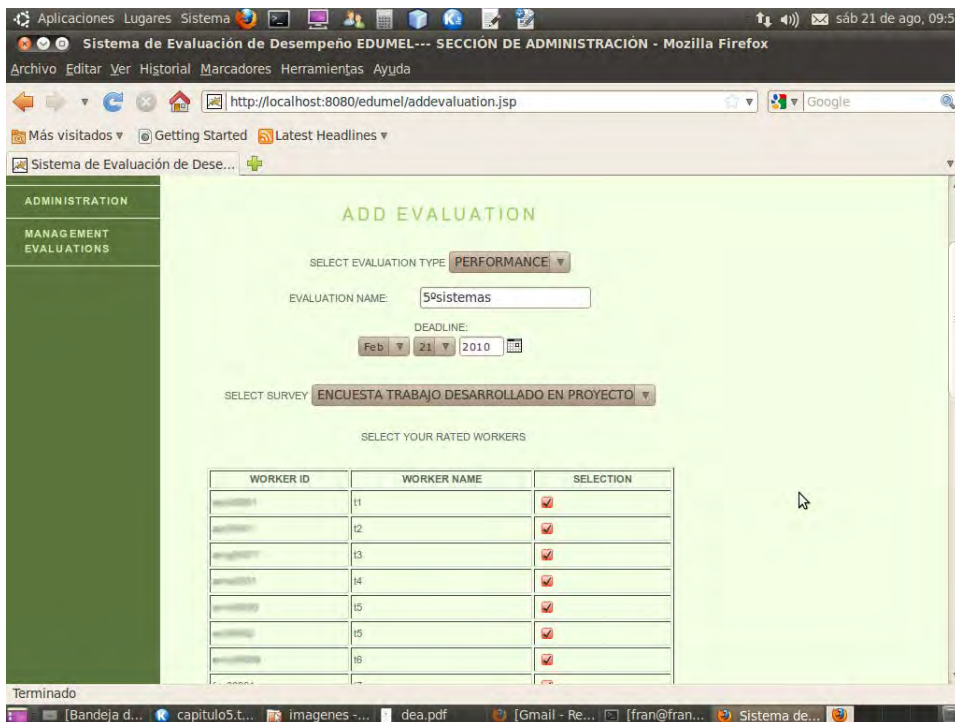


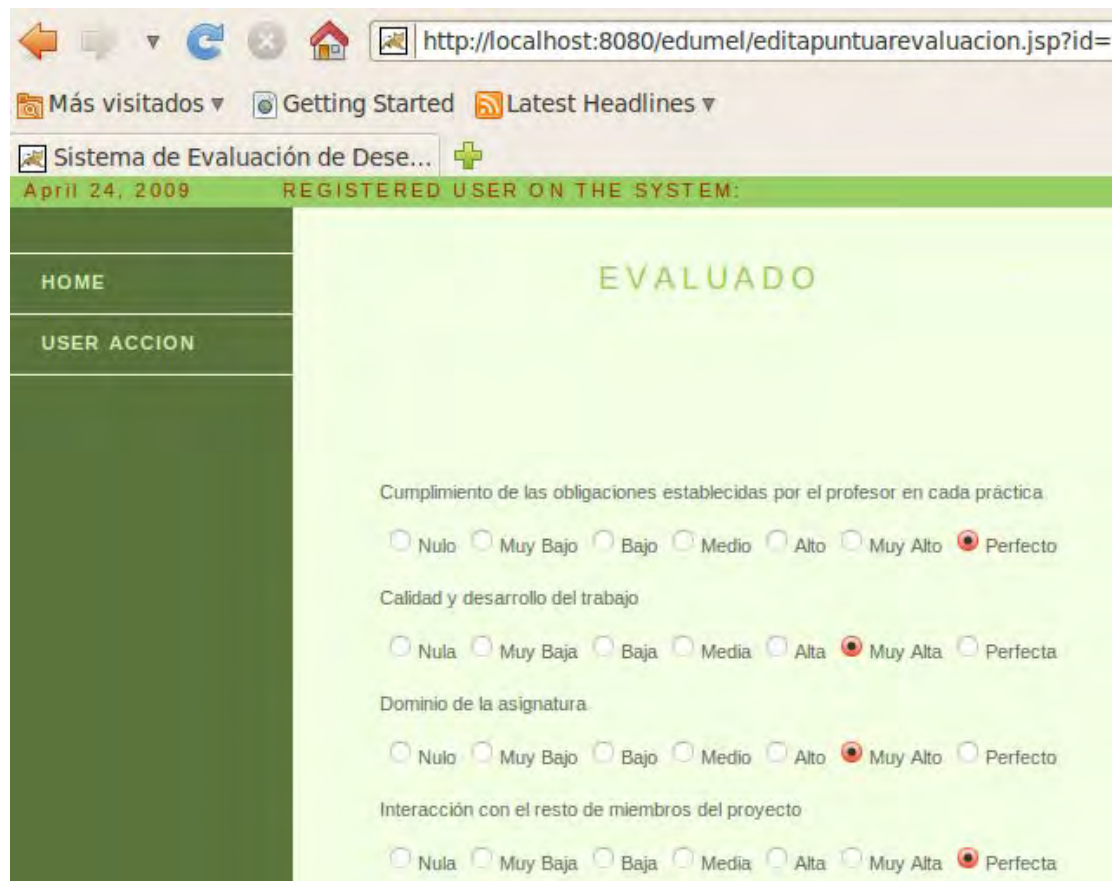
Figura 5.5: Creación de la Evaluación

## III. Elicitar valoraciones

El profesor y los alumnos accedieron al sistema y completaron las encuestas que tenían abiertas. El profesor completó 1 encuesta por cada alumno, es decir, 28 encuestas. Cada alumno rellenó 4 encuestas, de las cuales 3 corresponden a sus 3 compañeros de grupo de trabajo y una para sobre sí mismo.



La figura 5.6 muestra un ejemplo de un alumno evaluando a su compañero de grupo.



April 24, 2009 REGISTERED USER ON THE SYSTEM:

HOME

USER ACCION

## EVALUADO

Cumplimiento de las obligaciones establecidas por el profesor en cada práctica.

Nulo  Muy Bajo  Bajo  Medio  Alto  Muy Alto  Perfecto

Calidad y desarrollo del trabajo

Nula  Muy Baja  Baja  Media  Alta  Muy Alta  Perfecta

Dominio de la asignatura.

Nulo  Muy Bajo  Bajo  Medio  Alto  Muy Alto  Perfecto

Interacción con el resto de miembros del proyecto

Nula  Muy Baja  Baja  Media  Alta  Muy Alta  Perfecta

Figura 5.6: Realización de una evaluación

Los resultados de la recolección de la información han sido colgados en un fichero independiente en la siguientes dirección web por su extensión.  
<http://sinbad2.ujaen.es:8080/edumel/resultados.pdf>

Como hemos comentado anteriormente, los identificadores de los alumnos fueron sustituidos por letras del alfabeto.

Dichos resultados pueden ser cambiados mientras la evaluación se encuentre en estado de abierta, una vez expirada o cerrada no se podrán realizar cambios, sólo consultas.

### 5.1.3. Fase de Agregación de la Información

En este momento hay que realizar la **Unificación** y la **Agregación de la Información**. Como dijimos en el capítulo anterior, en la aplicación todo este proceso es transparente para el usuario, con lo cual una vez seleccionado el operador de agregación con el que se va a trabajar, el sistema automáticamente realizará la unificación y la agregación a la vez.

En nuestro caso de estudio, el usuario previamente definido, como de “Recursos Humanos”, por el administrador accedió al sistema a través de la pantalla mostrada en la figura 4.10 y seleccionó el operador de agregación a utilizar, en el caso mostrado en la figura 5.7, el operador de media aritmética, pero como se verá en los resultados obtenidos, también se solicitó la utilización del operador mediana.

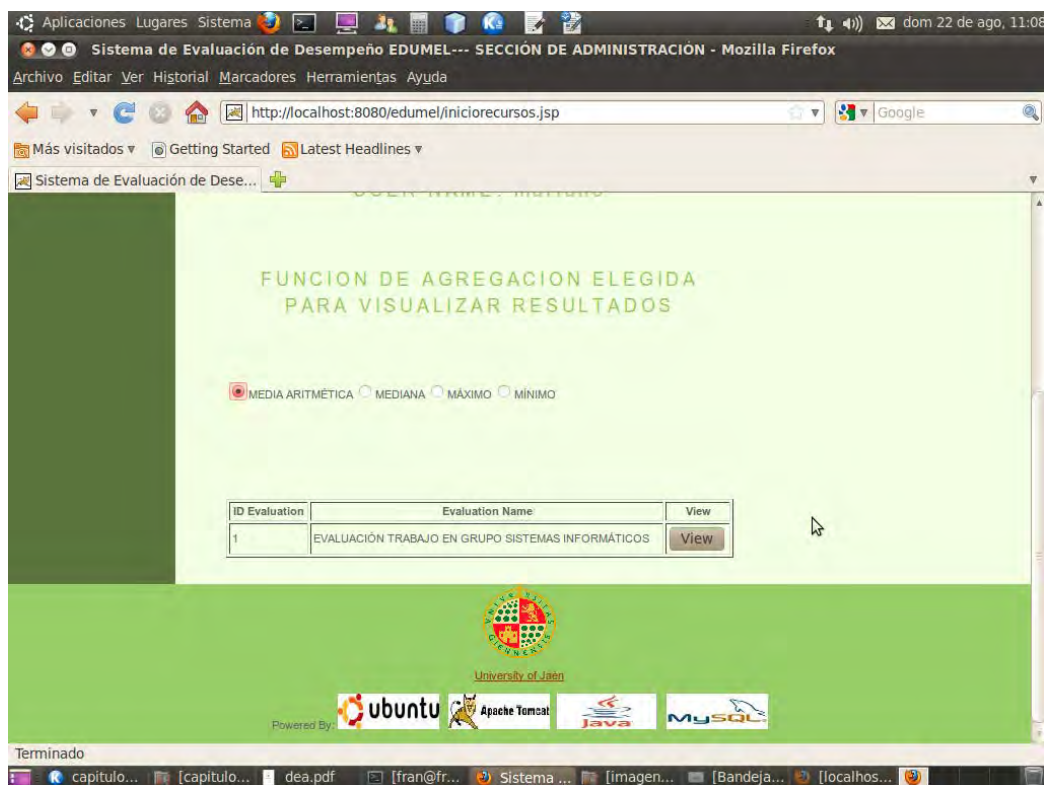


Figura 5.7: Realización de la unificación y aplicación de operador de agregación

## 5.2. Resultados Obtenidos

Esta sección muestra los resultados obtenidos en el caso de estudio.

### 5.2.1. Clasificación de Empleados

La clasificación de los resultados de los alumnos es una tarea que realizaría en una evaluación empresarial el equipo de recursos humanos. En nuestro caso, ese equipo lo formaron los 2 profesores de la asignatura.

Los resultados obtenidos con el operador media aritmética se puede observar en la figura 5.8

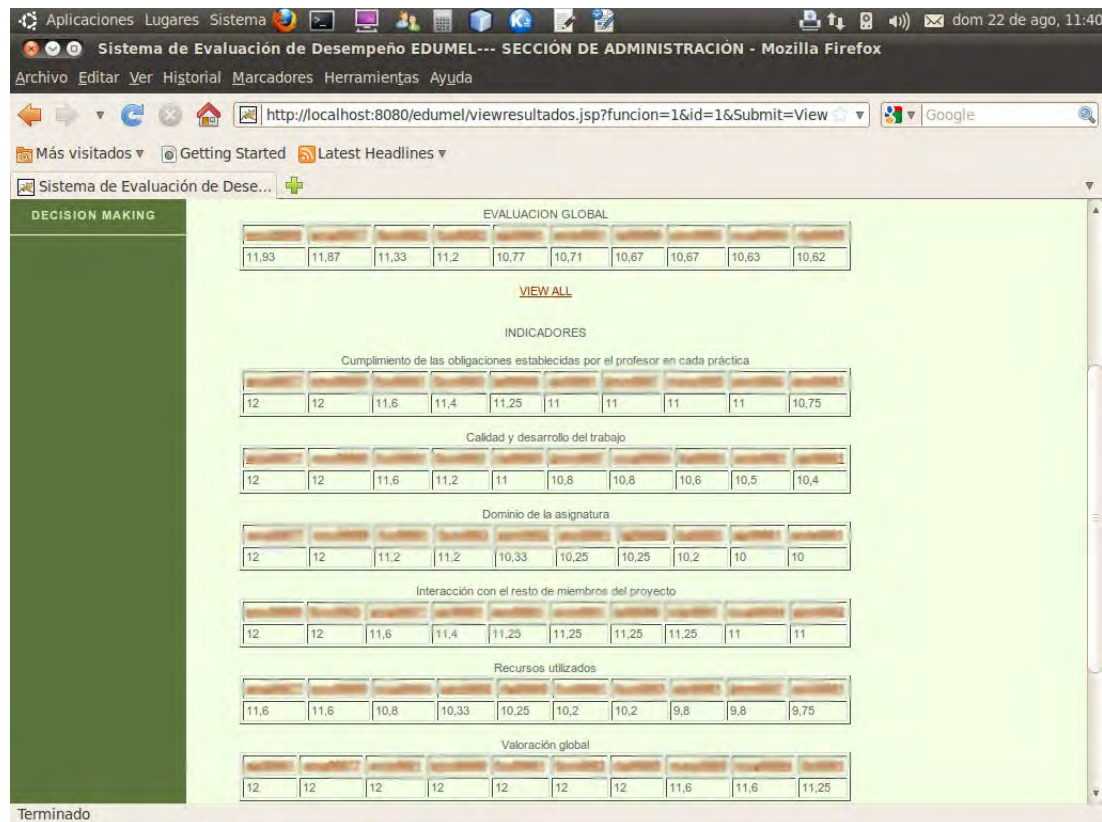


Figura 5.8: Resultados globales obtenidos usando el Operador Media Aritmética

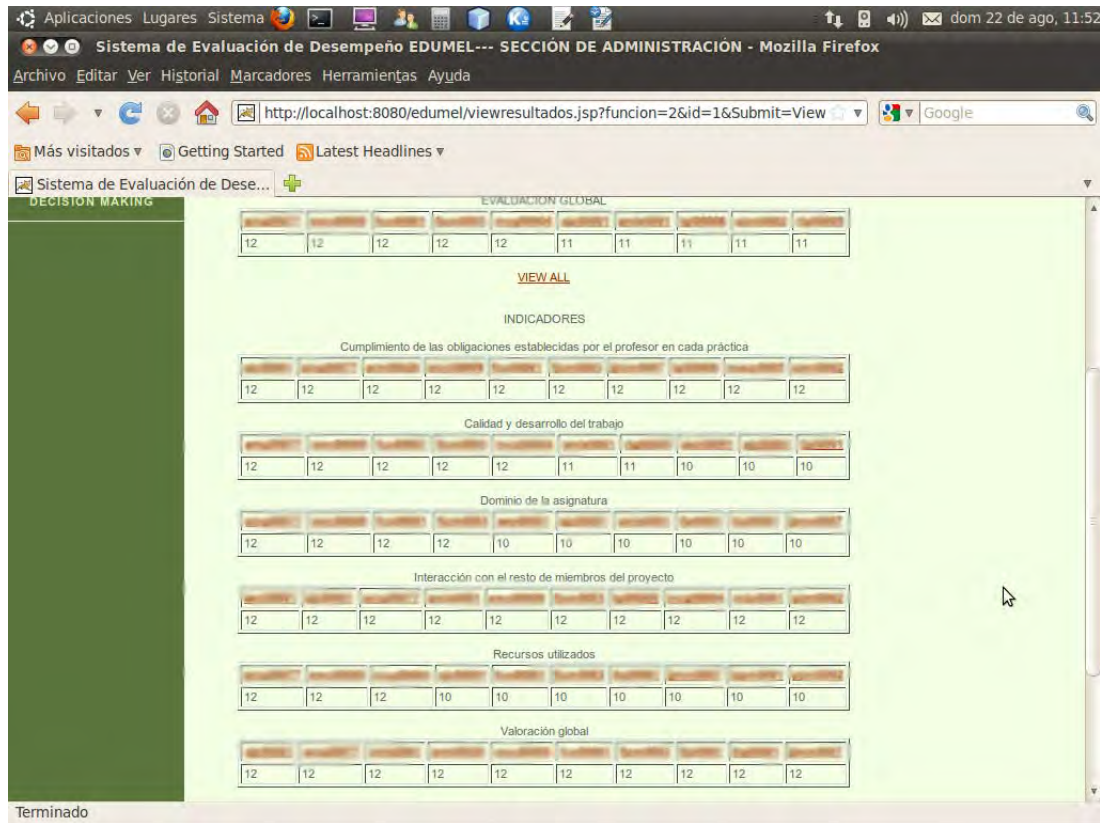


Figura 5.9: Resultados globales obtenidos usando el Operador Mediana

Los resultados de las figuras 5.8 y 5.9 muestran los índices de las etiquetas lingüísticas en el conjunto unificado en el nivel  $l(t', n(t'))$ , aunque pueden ser transformadas a las escalas de expresión de la ELH fácilmente. En la sección *Decision Making*, mediante las funciones de transformación en la ELH, definidas en el capítulo 3, se realizan dichas transformaciones de escala lingüística.

Los resultados de este caso de estudio son mostrados gráficamente en las figuras 5.10, 5.11, 5.12. Inicialmente estos son los gráficos que se han implementado, aunque en el futuro se añadirán nuevas representaciones si son necesarias.

El gráfico obtenido para la media aritmética sería el siguiente:

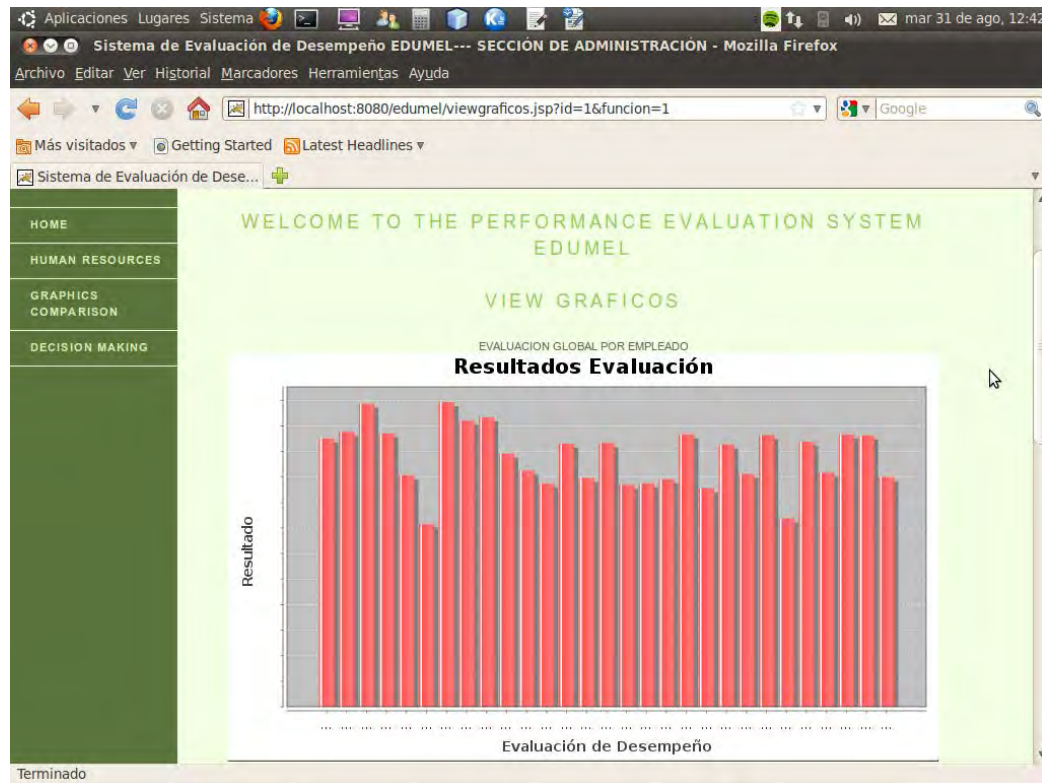


Figura 5.10: Gráfico comparativo de barras para media aritmética

Los gráficos de barras son muy útiles a la hora comparar varios valores a la vez. En este gráfico, obtenido con el operador media arimética, se muestra cláramente como hay 2 empleados cuya puntuación resalta claramente sobre el resto de compañareos.



El gráfico obtenido para la mediana sería el siguiente:

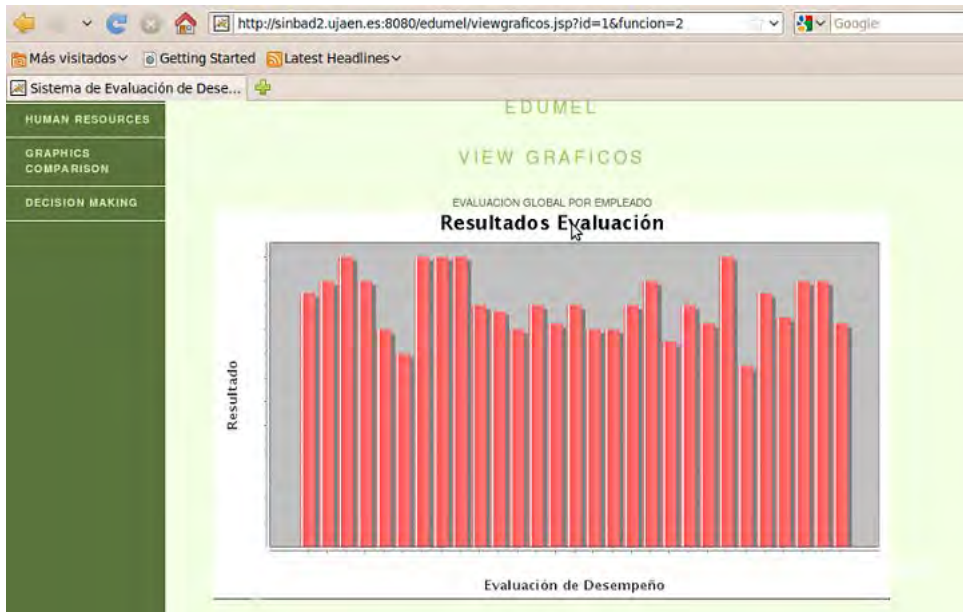


Figura 5.11: Gráfico comparativo de barras para la mediana

En este otro gráfico, obtenido con el operador de mediana, se ve como hay un conjunto formado por 4 empleados que están próximos a la mejor puntuación. Esto nos lleva a la reflexión de que el gráfico de media aritmética, en este caso, es mucho más útil, porque tiene una visión más clara de quién es el mejor empleado valorado.

También podemos mostrar otro tipo de gráficos como el radial. Este gráfico radial ha sido obtenido usando el operador media aritmética.

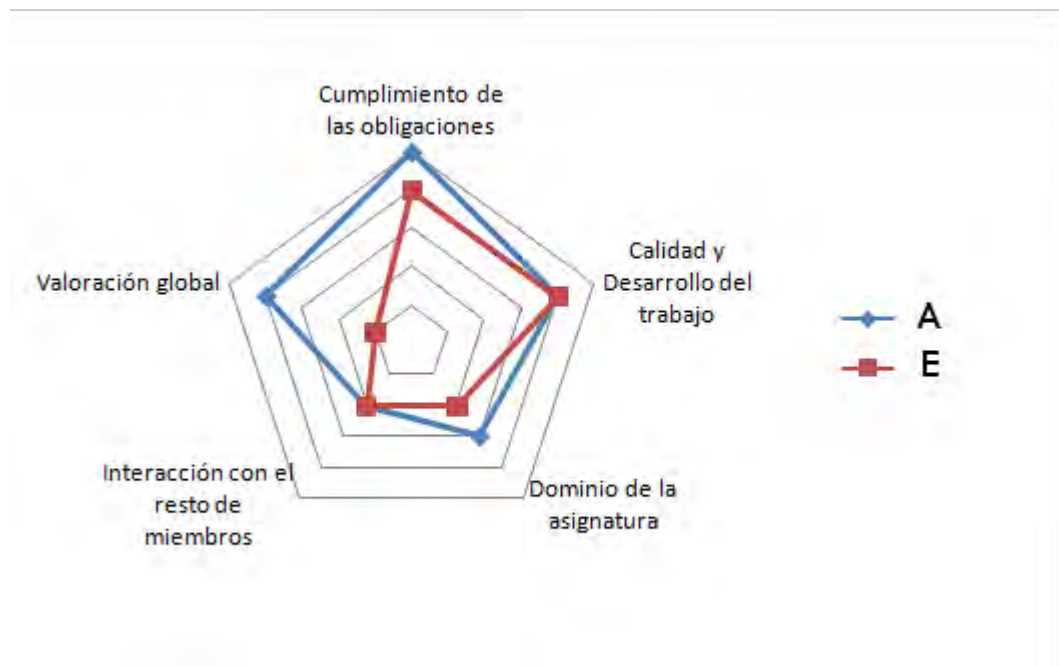


Figura 5.12: Gráfico comparativo radial





## Capítulo 6

# Conclusiones y Trabajos Futuros

El objetivo de la evaluación de desempeño es estimar el rendimiento global de un empleado. Para ello, la evaluación mide el grado de eficacia y eficiencia con el que los trabajadores realizan sus actividades, cumplen los objetivos y son responsables de su puesto de trabajo.

A lo largo de esta memoria hemos desarrollado un software para realizar procesos de evaluación de desempeño, que satisfacen los objetivos que inicialmente nos habíamos marcado, al comienzo de esta memoria de investigación.

Nos habíamos planteado realizar una aplicación web, que nos permitiese realizar procesos de evaluación de desempeño con modelo 360 grados y que permitiese el uso de múltiples escalas lingüísticas, para valorar las opiniones de los evaluadores aplicando evaluación de desempeño 360 grados. Para ello hemos utilizado el modelo propuesto en [4] y descrito en el capítulo 3 de esta memoria, sobre evaluación de desempeño usando múltiples escalas lingüísticas basado en ELH.

Un segundo objetivo era la realización de un caso de estudio utilizando el software anterior. Para ello hemos utilizado a los alumnos de la asignatura de Sistemas Informáticos de 5º de Ingeniería Informática, desarrollando un proceso de evaluación de desempeño 360 grados para medir su eficiencia en la realización del trabajo demandado en dicha asignatura y que se realiza en grupos de trabajo.

El desarrollo del caso de estudio, nos ha servido para validar el modelo de evaluación propuesto en [4] y confirmar la hipótesis de facilidad de evaluación de indicadores subjetivos mediante valoraciones lingüísticas.

Entre los trabajos futuros, está prevista la incorporación de nuevos operadores de agregación basados en la familia de los operadores OWA, para poder ofrecer una mayor flexibilidad de operadores de agregación según el problema de evaluación de desempeño.



# Apéndice



## Apéndices A

# Cursos de Doctorado

Los cursos del programa de Doctorado en Informática, que imparte la Universidad de Jaén, fueron realizados durante el año académico 2008/2009, siendo el coordinador del mismo D. Juan Ruiz de Miras.

A continuación pasamos a enumerar y describir brevemente cada uno de los cursos realizados en dicho período:

- *Metodología y Documentación Científica*: Este curso tuvo carácter obligatorio y fue impartido por el Dr. Francisco Feito, el Dr. Luis Martínez, el Dr. Alfonso Ureña y el Dr. Victor M. Rivas.

Los contenidos versaron sobre diferentes temas, pero todos ellos perseguían la finalidad de inculcar a los alumnos una metodología de investigación. En este curso se expusieron los objetivos a lograr en un programa de doctorado y la normativa que rigen dichos programas. Además, se proporcionó la información necesaria para que los alumnos conocieran de forma detallada los sistemas documentales y otras formas de obtener información científica.

- *Integración de Técnicas Hipermedia y Visualización Gráfica en Sistemas Inteligentes*: Impartido por el Dr. Francisco Mata, el Dr. Pedro J. Sánchez, el Dr. Antonio J. Rueda y la Dra. Lina Guadalupe García.

Los contenidos estuvieron referidos sobre los siguientes temas: Introducción a los Sistemas Inteligentes (sistemas de agentes, sistemas multi-agente, aplicaciones en internet), Agentes Inteligentes en Entornos Gráficos (grupos de animales, grupos de humanos, animales artificiales, humanos artificiales, evolución artificial), Sistemas Hipermedia (arquitecturas, metodologías y modelos).

- *Avances en Sistemas de Información Espacial*: Este curso fue impartido por el Dr. Francisco Feito, la Dra. Lidia Ortega, el Dr. Juan Carlos Torres (procedente de la Universidad de Granada) y el Dr. Angel Luis García.

En dicho curso se estudiaron los avances sobre Información Espacial, el Diseño e Implementación de los Sistemas de Navegación en Entornos Virtuales, se explicaron los Métodos para una Gestión Inteligente de la Información Espacial y las Herramientas Espaciales de Google.

- *Búsquedas Inteligentes de Información en la Web*: Impartido por el Dr. L. Alfonso Ureña y el Dr. Manuel García.

La formación que recibimos en este curso trató sobre el estado del arte de los sistemas de búsqueda de información, los sistemas de recuperación de información multilingüe, los sistemas de búsqueda de respuestas y los sistemas de recuperación de información geográfica.

- *Recuperación de Información Multimodal*: Este curso fue impartido por la Dra. María Teresa Martín y el Dr. José Manuel Fuertes.

En este curso se trataron los siguientes temas: Técnicas de Recuperación de Información (visual y textual), Herramientas y Módulos disponibles para el Tratamiento y Recuperación de la Información Visual y Textual, y Estudio y Aplicación de las diferentes Técnicas de Fusión de Documentos y Combinación de Resultados.

- *Minería de Datos Descriptiva y Web Mining*: Impartido por la Dra. María José del Jesús, el Dr. Pedro González, el Dr. Carlos Molina, el Dr. José María Serrano y el Dr. Victor M. Rivas.

En este curso se estudiaron las nuevas tendencias en minería de datos descriptivas, los problemas por resolver en las técnicas existentes y las vías de solución y desarrollo. Además, aprendimos algunos conceptos básicos del lenguaje de programación PERL, que se utiliza para el tratamiento de cadenas.

- *Minería de Datos Prescriptiva*: Curso impartido por la Dra. María José del Jesús, el Dr. Victor M. Rivas y el Dr. Antonio Jesús Rivera.

Se estudiaron los problemas de Clasificación, Regresión y Predicción de Series Temporales y las Técnicas existentes para solucionarlos. Además de Aproximación de Funciones, Redes Neuronales y Aproximación de Funciones con Redes Neuronales.

## Apéndices B

# Requerimientos Funcionales y Modelo E-R

### B.0.2. Requerimientos Iniciales de la Aplicación

Aquí se detallan los requerimientos impuestos inicialmente a la aplicación que como se verá más adelante cumple todos y cada uno de ellos.

- Debe de tener secciones diferenciadas tanto para administración, como para los colectivos de evaluadores, como para recursos humanos ver los resultados.
- Se debe permitir la creación de nuevos usuarios (administradores, evaluadores, recursos humanos), nuevas encuestas, nuevos indicadores, nuevos departamentos y nuevas evaluaciones. Todo este formará parte de la sección de Administración.
- El evaluador sólo podrá realizar las evaluaciones asignadas o consultar las que ya ha realizado.
- Una evaluación debe de tener una fecha límite para poder realizar las puntuaciones. Una vez finalizada la evaluación, el evaluador sólo podrá hacer consultas sobre lo que ha puntuado.
- Para la obtención de resultados en recursos humanos se podrán diferentes Operadores de Agregación.
- Los resultados deben ser mostrados gráficamente, utilizando para ello distintos formatos de gráficos.
- El sistema debe de implementar el Model de Evaluación de Desempeño 360 Grados con Múltiples Escalas Lingüísticas basado en ELH propuesto en [4].

A continuación pasamos a definir el modelo Entidad-Relación de nuestra aplicación web.

### B.0.3. Modelo Entidad-Relación

Como parte de la arquitectura de la aplicación se encuentra la base de datos. Esta ha sido diseñada siguiendo el modelo Entidad-Relación.

El esquema conceptual, el esquema conceptual modificado y el extracto de las tablas obtenidas y sus campos son las siguientes:

Por simplificar el esquema no hemos representado los atributos de las entidades, que serán descritos cuando definamos las tablas.

#### B.0.3.1. Esquema Conceptual

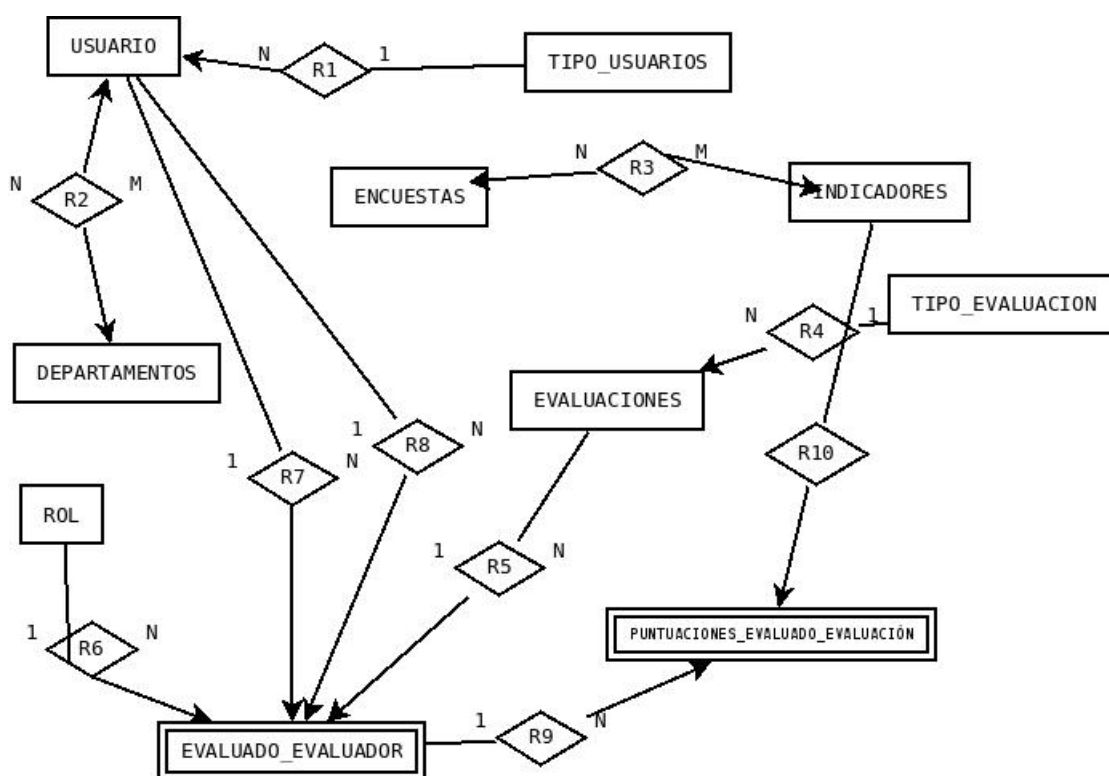


Figura B.1: Esquema Conceptual

*Especificación de las Relaciones:*

- R1: Relación entre usuarios y tipo usuarios. Indica que un tipo de usuario puede estar representado en varios usuarios.
- R2: Relación entre la entidad usuario y Departamento. Indica la posibilidad de que varios usuarios pertenezcan al mismo departamento, pudiendo haber varios departamentos donde elegir.



- R3: Relación entre la entidad Encuestas e Indicadores. Dicha relación expresa como podemos crear muchos indicadores que a su vez pueden ser usados en distintas encuestas.
- R4: Relación entre evaluaciones y tipo de evaluación. Esta relación expresa que una evaluación tiene un tipo de evaluación. Y un tipo de evaluación puede estar en varias evaluaciones.
- R5: Relación entre una evaluación y quienes son los evaluados y evaluadores de una evaluación.
- R6: Relación entre la entidad Rol y la evaluado evaluador. Es necesario, pues debemos de saber que Rol ejerce a la hora de la evaluación el evaluador.
- R7 y R8: Estas relaciones expresan que un usuario puede ser tanto evaluador como evaluado y esto queda recogido en la entidad evaluado evaluador.
- R9: Una vez que tenemos definida quién es el evaluado y quién el evaluador debe de haber una relación para que se les puntue en un indicador en concreto.
- R10: Relación entre los indicadores y las puntuaciones del evaluado y el evaluador.

**B.0.3.2. Esquema Conceptual Modificado**

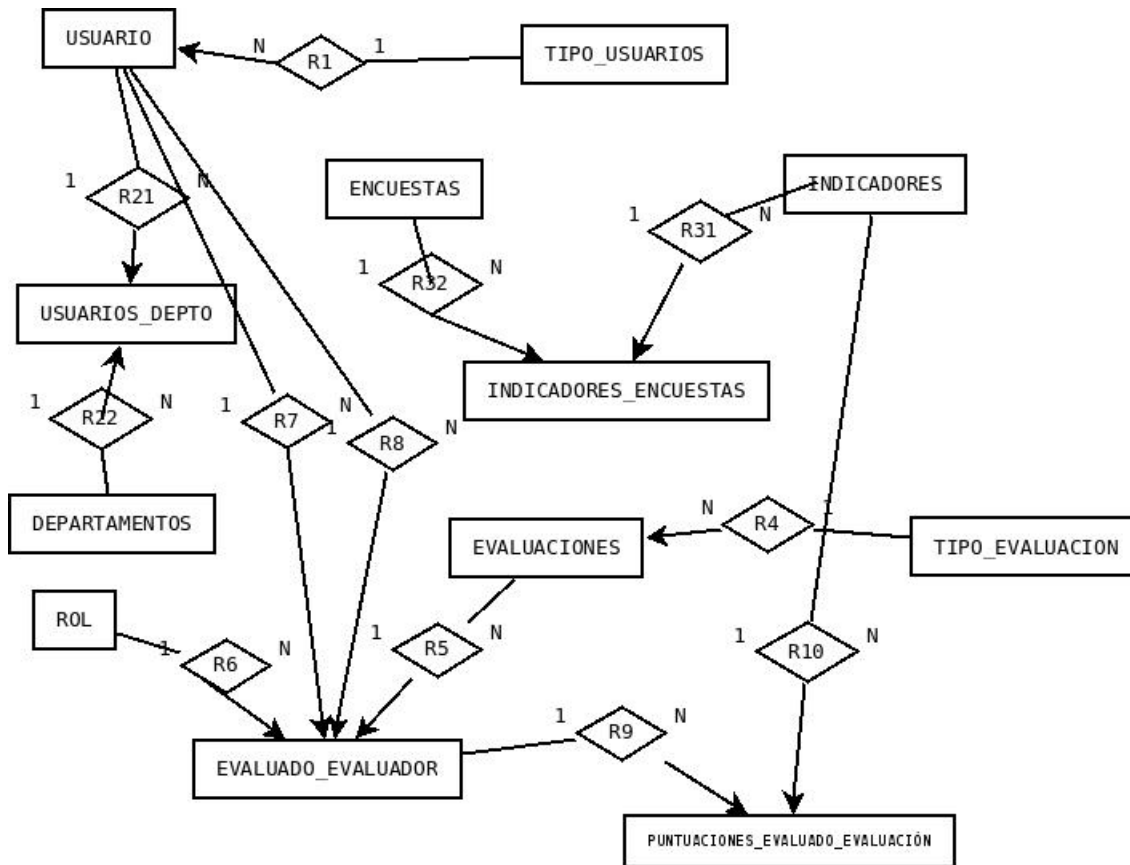


Figura B.2: Esquema Conceptual Modificado

*Especificación de las Relaciones:*

- R1: Relación entre usuarios y tipo usuarios. Indica que un tipo de usuario puede estar representado en varios usuarios.
- R21: Relación entre la entidad usuario y la entidad usuarios depto. Un usuario puede pertenecer a varios departamentos.
- R22: Relación entre la entidad departamento y la entidad usuarios depto. Un departamento puede tener muchos usuarios.
- R31: Relación entre la entidad indicadores y la entidad indicadores encuestas. Un indicador puede estar presente en muchas encuestas.
- R32: Relación entre la entidad encuestas y la entidad indicadores encuestas. Una encuesta puede estar formada por muchos indicadores.

- R4: Relación entre evaluaciones y tipo de evaluación. Esta relación expresa que una evaluación tiene un tipo de evaluación. Y un tipo de evaluación puede estar en varias evaluaciones.
- R5: Relación entre una evaluación y quienes son los evaluados y evaluadores de una evaluación.
- R6: Relación entre la entidad Rol y la evaluado evaluador. Es necesario, pues debemos de saber que Rol ejerce a la hora de la evaluación el evaluador.
- R7 y R8: Estas relaciones expresan que un usuario puede ser tanto evaluador como evaluado y esto queda recogido en la entidad evaluado evaluador.
- R9: Una vez que tenemos definida quién es el evaluado y quién el evaluador debe de haber una relación para que se les puntue en un indicador en concreto.
- R10: Relación entre los indicadores y las puntuaciones del evaluado y el evaluador.

### B.0.3.3. Tablas de la Base de Datos

Tras aplicar todos los pasos del modelo E-R, para finalizar extraemos las tablas resultantes del esquema conceptual modificado. Correspondiéndose cada tabla con una entidad del esquema.

**Tabla de Usuarios con sus atributos**

Campo	Tipo
<b>ID</b>	varchar(15)
<b>NOMBRE</b>	varchar(150)
<b>TIPO</b>	int(11)
<b>CLAVE</b>	varchar(8)
<b>BORRADO</b>	tinyint(1)
<b>NIVEL</b>	int(11)

**Tabla de Tipos de Usuarios con sus atributos**

Campo	Tipo
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRETIPO</b>	varchar(20)
<b>BORRADO</b>	tinyint(1)

**Tabla de Departamentos con sus atributos**

Campo	Tipo
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRE</b>	varchar(200)
<b>BORRADO</b>	int(11)

**Tabla de Usuarios de Departamentos con sus atributos**

<b>ID_USUARIO</b>	varchar(50)
<b>ID_DEPTO</b>	int(11)

Tabla de Indicadores para encuestas con sus atributos

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRE</b>	varchar(100)
<b>BORRADO</b>	tinyint(1)
<b>S03</b>	varchar(50)
<b>S13</b>	varchar(50)
<b>S23</b>	varchar(50)
<b>S05</b>	varchar(50)
<b>S15</b>	varchar(50)
<b>S25</b>	varchar(50)
<b>S35</b>	varchar(50)
<b>S45</b>	varchar(50)
<b>S07</b>	varchar(50)
<b>S17</b>	varchar(50)
<b>S27</b>	varchar(50)
<b>S37</b>	varchar(50)
<b>S47</b>	varchar(50)
<b>S57</b>	varchar(50)
<b>S67</b>	varchar(50)

Tabla de Encuestas con sus atributos

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRE</b>	varchar(255)
<b>BORRADO</b>	int(11)

Tabla de Indicadores-Encuestas con sus atributos

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>
<b>IDENCUESTA</b>	int(11)
<b>IDINDICADOR</b>	int(11)
<b>BORRADO</b>	int(11)

Tabla de Roles de los usuarios en la evaluación con sus atributos

Campo	Tipo
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRE</b>	varchar(50)
<b>NETIQUETAS</b>	int(11)

Tabla de Evaluaciones con sus atributos

Campo	Tipo
<b>ID</b>	int(11)
<b>NOMBRE</b>	varchar(250)
<b>FECHA_LIMITE</b>	varchar(20)
<b>IDENCUESTA</b>	int(11)
<b>CERRADA</b>	int(11)
<b>BORRADO</b>	int(11)
<b>VIDEAL</b>	float
<b>VANTIIDEAL</b>	float
<b>IDTIPOEVALUACION</b>	int(11)

Tabla de Tipo de Evaluaciones con sus atributos

Campo	Tipo
<b>ID</b>	int(11)
<b>TIPO</b>	varchar(50)

Tabla de Evaluado-Evaluador con sus atributos

Campo	Tipo
<b>ID_EVALUADO</b>	varchar(15)
<b>ID_EVALUACION</b>	int(11)
<b>ID_EVALUADOR</b>	varchar(15)
<b>ROL</b>	int(11)
<b>BORRADO</b>	int(11)

---

Tabla de Puntuaciones Evaluado-Evaluador-Evaluación con sus atributos

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>
<b>ID_EVALUADOR</b>	varchar(55)
<b>ID_EVALUACION</b>	int(11)
<b>ID_INDICADOR</b>	int(11)
<b>ETIQUETA</b>	varchar(50)
<b>ID_EVALUADO</b>	varchar(55)





# Bibliografía

- [1] G.I. Adamopoulos and C.P. Pappis. A fuzzy linguistic approach to a multicriteria sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 92(3):628–636, 1996.
- [2] R. de Andrés, M. Espinilla, R.M. Rodríguez, and L. Martínez. Performance appraisal with multiple linguistic scales. In *The 4th International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering*, Hasselt, Belgium, 2010.
- [3] R. de Andrés, J. L. García Lapresta, and L. Martínez. Multi-granular linguistic performance appraisal model. *Soft Computing*, 14(1):21–34, 2009.
- [4] R. de Andrés, M. Espinilla, and L. Martínez. An extended hierarchical linguistic model for managing integral evaluation. Technical Report Technical Report #DI-0001. <http://sinbad2.ujaen.es/sinbad2/files/publicaciones/268.pdf>, Universidad de Jaén, 2010.
- [5] B. Arfi. Fuzzy decision making in politics: A linguistic fuzzy-set approach. *Political Analysis*, 13:23–56, 2005.
- [6] C. G. Banks and L. Roberson. Performance appraisers as test developers. *Academy of Management Review*, 10:128–142, 1985.
- [7] J. N. Baron and D. M. Kreps. *Strategic Human Resources, Frameworks for General Managers*. Wiley & Sons, Nueva York, 1999.
- [8] G. Beliakov, R. Mesiar, and L. Valaskova. Fitting generated aggregation operators to empirical data. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 12(2):219–236, 2004.
- [9] G. Beliakov and J. Warren. Appropriate choice of aggregation operators in fuzzy decision support systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 9(6):773–784, 2001.
- [10] D. Ben-Arieh and Z. Chen. Linguistic group decision-making: opinion aggregation and measures of consensus. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 5(4):371–386, 2006.

- 
- [11] D. Ben-Arieh and Z. Chen. Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 36(3):558–568, 2006.
- [12] H. J. Bernardin, J. S. Kane, S. Ross, J. D. Spina, and D. L. Johnson. *Handbook of Human Resources Management*. Blackwell, Cambridge, 1995.
- [13] P. P. Bonissone. *A fuzzy sets based linguistic approach: Theory and applications*, pages 329–339. North-Holland, 1982.
- [14] P. P. Bonissone and K. S. Decker. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland, 1986.
- [15] P.P. Bonissone. *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, chapter A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications, pages 329–339. North-Holland Publishing Company, 1982.
- [16] G. Bordogna, M. Fedrizzi, and G. Pasi. A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 27:126–132, 1997.
- [17] G. Bordogna and G. Pasi. A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: A model and its evaluation. *Journal of the American Society for Information Science*, 44:70–82, 1993.
- [18] G. Bordogna and G. Pasi. An ordinal information retrieval model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9:63–76, 2001.
- [19] P. Bosc, D. Kraft, and F. Petry. Fuzzy sets in database and information systems: Status and opportunities. *Fuzzy Sets and Systems*, 3(156):418–426, 2005.
- [20] Z. Bubnicki. *Analysis and decision making in uncertain systems*. Springer-Verlag, 2004.
- [21] T. Calvo, R. Mesiar, and R.R. Yager. Quantitative weight and aggregation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12(1):62–69, 2004.
- [22] L. Canós and V. Liern. Soft computing-based aggregation methods for human resource management. *European Journal of Operational Research*, 189:669–681, 2008.
- [23] R. L. Cardy and G. H. Dobbins. *Performance Appraisal: Alternative Perspectives*. South-Western, Cincinnati, 1994.

- 
- [24] Z. Chen and D. Ben-Arieh. On the fusion of multi-granularity linguistic label sets in group decision making. *Computers and Industrial Engineering*, 51(3):526–541, 2006.
- [25] R. T. Clemen. *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, 1995.
- [26] R. Degani and G. Bortolan. The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *European Journal of Operational Research*, 2:143–162, 1988.
- [27] M. Delgado, J.L. Verdegay, and M.A Vila. Linguistic decision making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 7:479–492, 1992.
- [28] D. Dubois and J.L. Koning. Social choice axioms for fuzzy set aggregation. *Fuzzy Sets and Systems*, 43:257–274, 1991.
- [29] D. Dubois and H. Prade. A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information Science*, 36:85–121, 1985.
- [30] M. Edwards and E. Ewen. Automating 360 degree feedback. *HR focus*, 70:3, 1996.
- [31] M. Espinilla, J. Liu, and L. Martínez. An extended hierarchical linguistic model for decision-making problems. *Computational Intelligence*, page In press, 2010.
- [32] G. R. Ferris and T. A. Judge. Personnel/human resources management: A political influence perspective. *Journal of Management*, 17:1–42, 1991.
- [33] C. Fisher, L. F. Schoenfeldt, and J. B. Shaw. *Human Resources Management*. Houghton Mifflin Company, Boston, 2006.
- [34] L. R. Gómez Mejía, D. B. Balkin, and R. L. Cardy. *Dirección y Gestión de Recursos Humanos*. Prentice-Hall, Madrid, 2001.
- [35] F. Herrera, E. Herrera-Viedama, and L. Martínez. A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, (2), 2008.
- [36] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Aggregation operators for linguistic weighted information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 27(5):646–656, 1997.
- [37] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1):67–82, 2000.

- 
- [38] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and P.J. Sanchez. *Intelligent Sensory Evaluation: Methodologies and Applications*, chapter A Multi-Granular Linguistic Decision Model for Evaluating the Quality of Network Services, pages 71–92. Springer, 2004.
- [39] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1):43–58, 2000.
- [40] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 79:175–190, 1996.
- [41] F. Herrera and L. Martínez. The 2-tuple linguistic computational model. Advantages of its linguistic description, accuracy and consistency. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(Suppl.):33–49, 2001.
- [42] F. Herrera and L. Martínez. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6):746–752, 2000.
- [43] F. Herrera and L. Martínez. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 31(2):227–234, 2001.
- [44] E. Herrera-Viedma. An information retrieval model with ordinal linguistic weighted queries based on two weighting elements. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9:77–88, 2001.
- [45] E. Herrera-Viedma. Modeling the retrieval process of an information retrieval system using an ordinal fuzzy linguistic approach. *Journal of the American Society for Information Science*, 52(6):460–475, 2001.
- [46] E. Herrera-Viedma and A.G. López-Herrera. A model of information retrieval system with unbalanced fuzzy linguistic information. *International Journal of Intelligent Systems*, 22(11):1197–1214, 2007.
- [47] E. Herrera-Viedma, A.G. López-Herrera, M. Luque, and C. Porcel. A fuzzy linguistic IRS model based on a 2-tuple fuzzy linguistic approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, 15(2):225–250, 2007.
- [48] E. Herrera-Viedma, A.G. López-Herrera, and C. Porcel. Tuning the matching function for a threshold weighting semantics in a linguistic

- information retrieval system. *International Journal of Intelligent Systems*, 20(9):921–937, 2005.
- [49] E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and F Chiclana. A consensus support system model for group decision-making problems with multi-granular linguistic preference relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(5):644–658, 2005.
- [50] E. Herrera-Viedma, G. Pasi, A.G. López-Herrera, and C. Porcel. Evaluating the information quality of web sites: a methodology based on fuzzy computing with words. *Journal of American Society for Information Science and Technology*, 57(4):538–549, 2006.
- [51] E. Herrera-Viedma and E. Peis. Evaluating the informative quality of documents in SGML-format using fuzzy linguistic techniques based on computing with words. *Information Processing & Management*, 39(2):195–213, 2003.
- [52] E. Herrera-Viedma, E. Peis, J.M. Morales del Castillo, S. Alonso, and E.K. Anaya. A fuzzy linguistic model to evaluate the quality of web sites that store xml documents. *International Journal of Approximate Reasoning*, 46(1):226–253, 2007.
- [53] U. Hohle. *Mathematics of fuzzy sets*. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [54] V.N. Huynh and Y. Nakamori. A satisfactory-oriented approach to multi-expert decision-making with linguistic assessments. *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics Part B-Cybernetics*, 35(2):184–196, 2005.
- [55] G.J. Klir and B. Yuan. *Fuzzy sets an fuzzy logic: theory and applications*. Prentice-Hall PTR, 1995.
- [56] J. Lu, G. Zhang, and F. Wu. Team situation awareness using web-based fuzzy group decision support systems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(1):50–59, 2008.
- [57] S. Marshall. *Complete turnaround 360-degree evaluations gaining favour with workers management*. Arizona Republic, D1, 1999.
- [58] L. Martínez. Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *International Journal of Aproximated Reasoning*, 44, 2:148–164, 2007.
- [59] L. Martínez, M. Barranco, L. G. Pérez, and M. Espinilla. A knowledge based recommender system with multigranlar linguistic information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3):225–236, 2008.

- 
- [60] L. Martínez, M. Espinilla, and L. G. Pérez. A linguistic multi-granular sensory evaluation model for olive oil. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(2):148–158, 2008.
- [61] L. Martínez, L.G. Pérez, and M. Barranco. A multi-granular linguistic based-content recommendation model. *International Journal of Intelligent Systems*, 22(5):419–434, 2007.
- [62] J. A. Mello. *Strategic Human Resource Management*. Thomson Learning, Nueva York, 2002.
- [63] G.A. Miller. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity of processing information. *Psychological Review*, 63:81–97, 1956.
- [64] J. B. Miner. Development and application of the rated ranking technique in performance appraisal. *Journal of Occupational Psychology*, 6:291–305, 1998.
- [65] J.N. Moderson and P.S. Nair. *Fuzzy mathematics*. Physica-Verlag, New York, 1998.
- [66] R. W. Mondy and R. M. Noe. *Administración de Recursos Humanos*. Pearson, Prentice Hall, México, 2005.
- [67] K. R. Murphy and J. N. Cleveland. *Performance Appraisal: An Organizational Perspective*. Allyn & Bacon, Boston, 1991.
- [68] W. Pedrycz and F. Gomide. *An introduction to fuzzy sets: Analysis and Design (Complex Adaptive Systems)*. Bradford Book, 1998.
- [69] Da Ruan and Xianyi Zeng. *Intelligent Sensory Evaluation: Methodologies and Applications*. SpringerVerlag, 2004.
- [70] V. Torra. Aggregation of linguistic labels when semantics is based on antonyms. *International Journal of Intelligent Systems*, 16:513–524, 2001.
- [71] D. Wu and J.M. Mendel. Aggregation using the linguistic weighted average and interval type-2 fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6):1145–1161, 2007.
- [72] R.R. Yager. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18(1):183–190, 1988.
- [73] R.R. Yager. Non-numeric multi-criteria multi-person decision making. *Group Decision and Negotiation*, 2:81–93, 1993.

- 
- [74] R.R. Yager. An approach to ordinal decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12:237–261, 1995.
- [75] A. Yazici and R. George. *Fuzzy Database Modeling*. Phisyca-Verlag, 1999.
- [76] L. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–375, 1965.
- [77] L. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*, Part I y Part II (8), Part III (9):199–249,301–357,43–80, 1975.
- [78] L.A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences, Part I, II, III*, 8,8,9:199–249,301–357,43–80, 1975.
- [79] L.A. Zadeh. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers and Mathematics with Applications*, 9(1):149–184, 1983.
- [80] L.A. Zadeh and J. Kacprzyk. *Fuzzy logic for the management of uncertainty*. John Wiley, New York, 1992.
- [81] H.J. Zimmermann. *Fuzzy sets: Theory and its applications*. Kluwer Academic, 1996.