

UNIVERSIDAD DE JAÉN

**Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática**



**Modelo lingüístico difuso para problemas
de evaluación con información heterogénea
considerando la posible dependencia entre
criterios. Aplicación a la evaluación del
desempeño integral**

MEMORIA DE TESIS PRESENTADA POR

Francisco Jesús Martínez Mimblera

PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR EN INFORMÁTICA

Jaén, Noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática



**Modelo lingüístico difuso para problemas
de evaluación con información heterogénea
considerando la posible dependencia entre
criterios. Aplicación a la evaluación del
desempeño integral**

MEMORIA DE TESIS PRESENTADA POR

Francisco Jesús Martínez Mimblera

PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR EN INFORMÁTICA

DIRECTORES

DR. Luis Martínez López

DRA. Macarena Espinilla Estévez

DRA. Rocío de Andrés Calle

Jaén, Noviembre de 2015

El Dr. D. Luis Martínez López, catedrático del departamento de Informática de la Universidad de Jaén, la Dra. D^a. Macarena Espinilla Estévez, profesora del departamento de Informática de la Universidad de Jaén y la Dra. D^a. Rocío de Andrés Calle, profesora del departamento de Economía e Historia Económica de la Universidad de Salamanca.

CERTIFICAN:

Que la Tesis Doctoral titulada “Modelo lingüístico difuso para problemas de evaluación con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios. Aplicación a la evaluación del desempeño integral” que presenta D. Francisco Jesús Martínez Mimblera para optar al grado de doctor, ha sido realizada bajo nuestra dirección y tutorización, cumpliendo los requisitos necesarios para su presentación, lectura y defensa.

En Jaén, Noviembre de 2015

El doctorando

Fdo: D. Francisco Jesús Martínez Mimblera

Los directores:

Fdo: Dr. D. Luis Martínez López — Fdo: Dra. D^a Macarena Espinilla Estévez

Fdo: Dra. D^a Rocío de Andrés Calle

A la memoria de mis abuelos, Isabel, Cristóbal y Francisco.

Caminante, son tus huellas
el camino y nada más;
caminante, no hay camino,
se hace camino al andar.

Al andar se hace camino
y al volver la vista atrás
se ve la senda que nunca
se ha de volver a pisar.

Caminante no hay camino
sino estelas en la mar...

Antonio Machado

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi más sincero agradecimiento y admiración a mis directores, Luis Martínez López, Macarena Espinilla Estévez y Rocío de Andrés Calle, por su dedicación y esfuerzo para que esta tesis doctoral haya llegado a buen puerto.

Mi más profundo agradecimiento a mi familia por su apoyo y ánimo y en especial a mis padres Pedro y Juani, que tanto me han dado en esta vida. Gracias.

A María Del Mar, por hacerme feliz cada día durante estos últimos 3 años y apoyarme en los malos momentos que he tenido.

A mis compañeros y amigos del grupo de investigación *Sinbad*² de la Universidad de Jaén por su acogimiento, consejos, ánimo y apoyo durante este tiempo. Asimismo me gustaría dar las gracias a los miembros del departamento de Economía e Historia Económica de la Universidad de Salamanca por su acogimiento y colaboración durante mi estancia de investigación allí en Salamanca, en especial al Dr. D. José Carlos Rodríguez Alcaltud.

Por último, no puedo desaprovechar esta oportunidad para dar las gracias a todos aquellos que de una manera u otra me han apoyado y ayudado durante el desarrollo de esta tesis.

GRACIAS A TODOS.

FRAN.

Índice general

Índices de Tablas y Figuras	V
Tablas	V
Figuras	VII
1. Introducción	9
1.1. Motivación	9
1.2. Objetivos	13
1.3. Estructura	14
2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones	17
2.1. Introducción	17
2.2. Análisis de decisión y evaluación	18
2.3. El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organiza- ciones	20
2.3.1. Métodos clásicos de evaluación del desempeño	23
2.3.2. Evaluación del desempeño integral o evaluación de 360- grados	25
2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión	27
2.4.1. Características y clasificación de los problemas de toma de decisiones	27
2.4.2. Modelado de la información en los problemas de toma de decisiones	31
2.4.3. Proceso de evaluación del desempeño integral desde la perspectiva del análisis de la decisión	32

2.4.3.1.	Definición del marco de evaluación	32
2.4.3.2.	Recolección de la información	33
2.4.3.3.	Valoración global	34
3.	Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones	39
3.1.	Introducción	39
3.2.	Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones	40
3.2.1.	Enfoque basado en la manipulación directa de la información heterogénea	42
3.2.2.	Enfoque basado en la unificación de la información heterogénea en un dominio de expresión lingüístico	45
3.2.2.1.	Modelo basado en unificación de la información en etiquetas lingüísticas	45
3.2.2.2.	Modelo basado en unificación de la información en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas	48
3.2.2.3.	Modelo basado en unificación de la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla	49
3.2.2.4.	Revisión detallada del modelo basado en unificación de la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla	50
4.	Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios	57
4.1.	Introducción	57
4.2.	Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios .	59
4.2.1.	Definición del marco de evaluación	61
4.2.2.	Recolección de la información	63
4.2.3.	Valoración global	65
4.2.3.1.	Unificación de la información heterogénea	66

4.2.3.2.	Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio	69
4.2.3.3.	Cálculo de las valoraciones globales para cada criterio	73
4.2.3.4.	Cálculo de la valoración global	75
5.	Caso de estudio	83
5.1.	Introducción	83
5.2.	Definición del marco de evaluación	84
5.3.	Recolección de la información	87
5.4.	Valoración global	94
5.4.1.	Unificación de información heterogénea	94
5.4.2.	Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio	97
5.4.3.	Cálculo de las valoraciones globales para cada criterio	98
5.4.4.	Cálculo de la valoración global	99
6.	Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral	101
6.1.	Introducción	101
6.2.	Arquitectura del sistema web MSPE	103
6.3.	Funcionalidad del sistema web MSPE	105
6.3.1.	Definición del marco de evaluación en el sistema web MSPE	106
6.3.2.	Recolección de la información en el sistema web MSPE	112
6.3.3.	Valoración global en el sistema web MSPE	114
7.	Conclusiones y trabajos futuros	121
7.1.	Conclusiones	121
7.2.	Trabajos futuros	123
7.3.	Publicaciones relacionadas con la tesis doctoral	123
	Apéndices	125
A.	Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea	127
A.1.	Nociones y conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos	127

A.1.1.	Conjuntos difusos y funciones de pertenencia	128
A.1.1.1.	Definiciones básicas relacionadas con conjuntos difusos	129
A.1.1.2.	Tipos de funciones de pertenencia	130
A.1.1.3.	Número difuso	131
A.2.	Enfoque lingüístico difuso	132
A.2.1.	Variables lingüísticas	132
A.2.2.	Elección de una adecuada sintaxis del conjunto de términos lingüísticos	133
A.2.3.	Definición de la semántica asociada a cada término lingüístico	135
A.3.	Modelo lingüístico basado en 2-tupla	137
A.3.1.	Modelo de representación lingüístico 2-tupla	137
A.3.2.	Modelo computacional lingüístico 2-tupla	138
B.	Medidas difusas e integrales difusas	141
B.1.	Medidas difusas	141
B.2.	Integrales difusas. Integral de Sugeno e Integral de Choquet	144
B.3.	Operadores de agregación 2-tupla basados en la Integral de Choquet discreta	146
Bibliografía		148

Índice de tablas

2.1. Recolección de las valoraciones emitidas por los distintos expertos	34
2.2. Valoraciones globales por colectivo para cada criterio	36
2.3. Valoraciones globales para cada criterio	36
2.4. Valoraciones globales por empleado	37
4.1. Recogida de información del conjunto de colectivos	64
4.2. Valoraciones de los evaluadores unificadas en el conjunto CBTL de 9 términos	68
4.3. Valoraciones globales por colectivo para cada criterio	73
4.4. Valoraciones globales para cada criterio	75
4.5. Valoraciones globales por empleado considerando la independen- cia de criterios	77
4.6. Valoraciones globales por empleado considerando la dependencia de criterios	81
5.1. Dominios de expresión utilizados por colectivo y criterio	87
5.2. Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_1 , expresados en número de prendas	87
5.3. Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_2 , expresados en euros	88
5.4. Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_3 , expresados en minutos	88
5.5. Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_4	88
5.6. Valoraciones de los colaboradores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_4	88

5.7. Valoraciones de los supervisores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_5	89
5.8. Valoraciones de los supervisores en S^9 para cada empleado sobre el criterio Y_6	89
5.9. Valoraciones de los supervisores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_7	89
5.10. Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_7	90
5.11. Valoraciones de los clientes en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_7	90
5.12. Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_8	91
5.13. Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_9	91
5.14. Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_9	91
5.15. Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_{10}	92
5.16. Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_{10}	92
5.17. Valoraciones de los supervisores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}	92
5.18. Valoraciones de los colaboradores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}	93
5.19. Valoraciones de los clientes en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}	93
5.20. Valores unificados en el CBTL de 9 términos	94
5.21. Valoraciones globales por colectivo para cada criterio	97
5.22. Pesos fijados para los criterios por el departamento de Recursos Humanos para los colectivos evaluadores	98
5.23. Valoraciones globales por criterios usando los pesos fijados por el departamento de Recursos Humanos	98
5.24. Valoración global para cada empleado teniendo en cuenta la dependencia entre los criterios	100

Índice de figuras

2.1. Esquema general de resolución de un problema de toma de decisiones	19
2.2. Esquema general de un proceso de evaluación	20
2.3. Evaluación del desempeño integral o 360-grados	26
2.4. Clasificación de los problemas de toma de decisiones	28
2.5. Proceso de evaluación del desempeño integral o 360-grados	33
2.6. Agregación multi-etapa para la obtención de valoraciones intermedias y finales de un proceso de evaluación del desempeño integral	35
3.1. Taxonomía de modelos para el tratamiento de información heterogénea	41
3.2. Modelo de manipulación directa de información heterogénea	43
3.3. Modelo de unificación de información heterogénea en etiquetas lingüísticas	46
3.4. Modelo de unificación de información heterogénea en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas	48
3.5. Modelo de unificación de información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla	50
3.6. Conjunto básico de términos lingüísticos	52
3.7. Transformación de un valor numérico, 0.32, a $\mathcal{F}(\bar{S})$	53
3.8. Transformación de un valor intervalar [0.32,0.78], a $\mathcal{F}(\bar{S})$	54
3.9. Transformación de un término lingüístico, s_1 , a $\mathcal{F}(\bar{S})$	55
4.1. Proceso de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia de criterios	60

4.2. Conjunto básico de términos lingüísticos \bar{S}	67
4.3. Transformando un valor numérico, 0.28, a $\mathcal{F}(\bar{S})$	68
6.1. Panel del acceso del sistema web MSPE	103
6.2. Arquitectura cliente-servidor	104
6.3. Panel de gestión de los usuarios con el rol administrador	107
6.4. Panel para la definición de un criterio asociado a un dominio lingüístico	108
6.5. Panel para la gestión de encuestas	109
6.6. Panel para la definición de una evaluación	110
6.7. Panel de gestión de evaluaciones	111
6.8. Panel para la asignación de evaluadores	112
6.9. Panel con las evaluaciones asociadas a un empleado	112
6.10. Panel para la recopilación de información de un empleado	113
6.11. Panel para la elección de operadores de agregación en el cálculo de las valoraciones globales	115
6.12. Panel para recoger la información requerida para calcular las valoraciones intermedias y finales	116
6.13. Panel con las valoraciones globales por criterio y por colectivo	116
6.14. Panel con las valoraciones globales por criterio y finales	117
6.15. Panel para la selección de valores globales a través de gráficos	118
6.16. Panel con las valoraciones globales mostradas a través de gráficos	118
A.1. Representación gráfica de las funciones de pertenencia triangular, trapezoidal y gaussiana	130
A.2. Dos definiciones semánticas para la variable lingüística altura mediante funciones trapezoidales y triangulares	136

Capítulo 1

Introducción

En este Capítulo se expone la motivación que nos ha llevado a trabajar sobre los problemas de evaluación del desempeño en esta memoria de investigación y se detallan los objetivos específicos que se han fijado en la misma. Por último se realiza un resumen de los temas que se van a abordar en cada Capítulo de la memoria de investigación.

1.1. Motivación

Uno de los principales objetivos dentro de una empresa, y más si cabe aún, con la actual globalización de la economía y la dura competencia empresarial, es el aumento de su productividad con el propósito de maximizar o mantener sus beneficios.

En la amplia literatura existente [5, 6, 11, 57, 97, 105] se pone de manifiesto que la evaluación del esfuerzo, dedicación y la eficacia con la que resuelven los objetivos planteados los trabajadores, mejora los niveles de productividad de la empresa. Así, la evaluación del desempeño de un trabajador juega cada vez más un papel fundamental en la mayoría de las empresas, convirtiéndose en una herramienta muy importante para el departamento de Recursos Humanos y para la toma de decisiones asociadas a dicho departamento.

En los procesos de evaluación del desempeño uno de los principales objetivos es la estimación del rendimiento global de los empleados. Para ello se realizan valoraciones sobre el nivel de eficiencia y eficacia con el que los trabajadores

cumplen sus tareas, los objetivos fijados por la empresa y las responsabilidades de su puesto de trabajo. Tradicionalmente el proceso de valoración era realizado únicamente por el supervisor directo del empleado evaluado. Sin embargo, la utilización de una única fuente de información para la evaluación del empleado, provocaba la aparición de problemas e inconvenientes tales como valoraciones subjetivas, tendencia central, efecto halo, etc. [5, 57].

Recientemente y con el objetivo de eliminar los problemas derivados de la obtención de evaluaciones procedentes de una única fuente de información, las empresas comienzan a considerar en el proceso de evaluación las valoraciones emitidas por los diversos agentes o colectivos que interactúan con el empleado evaluado (clientes, compañeros, colaboradores, etc.), incorporando también la propia opinión del empleado sobre sí mismo. Este método de evaluación del desempeño se conoce como *Evaluación Integral* o *Evaluación 360-grados* [53, 93, 102]. La denominación de evaluación 360-grados proviene de la idea de cubrir los 360 grados que simbólicamente representan todos los colectivos con los que tiene relación un trabajador en su entorno laboral.

Para alcanzar el objetivo de un proceso de evaluación de desempeño se sigue una serie de pasos que comparten características similares a los que se realizan en los modelos de análisis de decisión [35]. Es por ello, que los problemas de evaluación del desempeño pueden ser afrontados mediante modelos basados en el análisis de decisión para su resolución.

Como se ha comentado, los procesos de evaluación del desempeño forman una parte crucial en el aumento de la productividad en las empresas. Sin embargo, son muchas las empresas que realizan estos procesos mediante procedimientos poco formales y metodologías obsoletas que caen en errores como la falta de anonimato de los evaluadores, utilización de dominios de expresión inadecuados y rígidos, asunción de independencia entre los criterios y tratamiento de la incertidumbre no probabilística de manera inadecuada. Los errores mencionados, provocan la aparición de deficiencias y carencias en los procesos de evaluación del desempeño que originan que estos se realicen de modo inadecuado. A continuación se detallan algunas situaciones donde se evidencian dichos hechos:

1. Un error común en los procesos tradicionales de evaluación de desempeño integral suele ser la utilización de dominios de expresión inadecuados y rígidos. Las valoraciones de los diferentes evaluadores son emitidas en una

1.1. Motivación

única escala o dominio de expresión, sin considerar los distintos grados de conocimiento de los evaluadores sobre el empleado que va a ser evaluado. Este hecho provoca dificultad para expresar el conocimiento del evaluador y por tanto una falta de precisión en los resultados obtenidos mediante la evaluación de desempeño.

2. Otro problema que cabe destacar, suele estar presente en el tratamiento de la incertidumbre no probabilística. La naturaleza cuantitativa y cualitativa de los criterios de evaluación utilizados habitualmente en este tipo de procesos, hace necesario el uso de modelos que permitan tratar la incertidumbre no probabilística existente, a la hora de evaluar los criterios cualitativos. Actualmente los modelos de evaluación del desempeño existentes no tienen en cuenta dicha situación.
3. Por último, señalar que hasta el momento, en los procesos de evaluación de desempeño no se había tenido en cuenta la posible dependencia entre los criterios evaluados. Tradicionalmente se ha partido de la hipótesis de que los criterios valorados en el proceso de evaluación eran siempre independientes. En el caso de que no se cumpla dicha hipótesis, las valoraciones globales obtenidas no se corresponden con la realidad. Por tanto, es necesario considerar que los criterios evaluados en un proceso de evaluación de desempeño puedan estar relacionados entre sí, siendo un error utilizar modelos que no contemplen dicha situación.

Debido a las limitaciones detectadas en los procesos de evaluación del desempeño usados en las empresas, nuestra investigación pretende estudiar y realizar propuestas metodológicas y herramientas que permitan mejorar los resultados de los procesos de evaluación del desempeño 360-grados. De este modo, se pretende facilitar el incremento de la competitividad frente a las empresas de la competencia y a la vez ser más objetivos a la hora de evaluar o promocionar al capital humano existente.

Con este propósito, previamente se ha realizado una revisión de la literatura reciente relacionada. Una de las primeras referencias a metodologías formales para la realización de procesos de evaluación integral es la presentada por de Andrés Calle, García-Lapresta y Martínez en 2009 [38] donde se utiliza

información lingüística para valorar los criterios cualitativos involucrados en el proceso de evaluación del desempeño. En 2010, de Andrés Calle, Espinilla y Martínez [37] proponen un nuevo modelo de evaluación integral basado en información lingüística que elimina la pérdida de información que se producía en el anterior modelo. Los modelos de evaluación de desempeño mencionados hacen uso del modelo lingüístico 2-tupla [69] para representar la información lingüística y, además, siempre consideran que existe independencia entre los criterios evaluados.

Aunque los modelos previos han mejorado la realización de procesos de evaluación del desempeño integral, presentan varias limitaciones:

- No incorporan en sus supuestos de partida que la información presente en un proceso de evaluación del desempeño integral no siempre es de tipo cualitativo, pudiendo recogerse durante el proceso tanto información de tipo cualitativo como cuantitativo, produciéndose un marco de trabajo que maneja información heterogénea.
- La hipótesis de partida de independencia entre los criterios valorados no es siempre correcta, ya que hay situaciones donde los criterios suelen estar relacionados entre si.

Todos estas limitaciones encontradas nos llevan a plantearnos el estudio y construcción de un nuevo modelo de evaluación del desempeño integral que permita mejorar los modelos existentes y, además, venza las limitaciones anteriormente planteadas. Como veremos, éste será uno de nuestros objetivos principales en esta memoria.

Por último y no menos importante, cabe señalar que, tras revisar algunos de los ERP (Enterprise Resource Planning) más destacados y utilizados en el mercado (SAP, NAVISION, SAGE, EUROWIN, OPENBRAVO), se hizo evidente la carencia existente en todos ellos de módulos que integren la gestión de procesos de evaluación del desempeño 360-grados. La mayoría de las empresas no utilizan procesos de evaluación del desempeño y las que los utilizan, recurren al procedimiento tradicional, donde las valoraciones proporcionadas por el conjunto de evaluadores son recogidas a través de cuestionarios en papel, los cuales posteriormente son introducidos en un ordenador para su procesamiento a través

1.2. Objetivos

de hojas de cálculo o herramientas estadísticas similares. Es por ello que en esta memoria de tesis doctoral también se presenta una herramienta software de gestión de procesos de evaluación del desempeño integral, la cual permitirá superar las limitaciones anteriormente presentadas.

Una vez expuestas las motivaciones que nos han llevado a realizar esta investigación, indicamos los objetivos que nos marcamos en esta memoria para resolver los problemas descritos y las cuestiones planteadas.

1.2. Objetivos

El propósito general de esta memoria de investigación es diseñar un método formal que permita abordar un proceso de evaluación integral de forma exitosa, considerando la evaluación de criterios cualitativos y cuantitativos así como la posible dependencia entre ellos.

En base a este propósito nos planteamos los siguientes objetivos:

- Realizar una revisión sobre la toma de decisiones y su relación con los procesos de evaluación mediante el análisis de decisión.
- Estudiar los procesos de evaluación del desempeño dentro de las empresas y los problemas que presentan los métodos tradicionales.
- Revisar y estudiar el método de evaluación del desempeño 360-grados o integral.
- Revisar los distintos modelos de toma de decisiones existentes en la literatura para el manejo de información heterogénea y estudiar el más adecuado para la propuesta de un nuevo modelo de evaluación del desempeño 360-grados con el fin de proporcionar resultados interpretables.
- Proponer un nuevo modelo de evaluación del desempeño 360-grados que permita a los evaluadores expresarse en diferentes dominios de expresión a la hora de valorar los criterios involucrados.
- Considerar en el modelo de evaluación del desempeño 360-grados propuesto la dependencia de criterios a la hora de obtener los resultados globales de un proceso de evaluación integral.

- Diseñar e implementar una herramienta software que sea capaz de llevar una gestión eficiente y eficaz de los procesos de evaluación realizados en la empresa, la cual implementará el modelo de evaluación del desempeño 360-grados propuesto en esta memoria tesis.

1.3. Estructura

Para alcanzar los objetivos planteados, esta memoria de investigación se estructura en los siguientes Capítulos:

- **Capítulo 2.** Este Capítulo comienza haciendo una revisión de los conceptos de la toma de decisiones y de los procesos de evaluación del desempeño en la empresa. A continuación mostraremos algunos métodos clásicos basados en el análisis de decisión para la resolución de dichos problemas de evaluación. Por último nos centraremos en el modelo de evaluación del desempeño 360-grados, objeto de estudio de esta memoria.
- **Capítulo 3.** Este Capítulo revisa los distintos modelos existentes en la literatura para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones, centrándonos en el modelo con unificación de la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla propuesto por Herrera, Martínez y Sánchez [72], ya que éste será el modelo utilizado en nuestra propuesta.
- **Capítulo 4.** Este Capítulo propone el modelo de evaluación del desempeño integral propuesto en esta memoria de investigación para trabajar con información heterogénea, asumiendo tanto la hipótesis de criterios independientes como de criterios dependientes.
- **Capítulo 5.** Este Capítulo muestra un caso de estudio de un proceso real de evaluación del desempeño integral realizado en una compañía textil para probar las bondades y beneficios del modelo propuesto en el Capítulo anterior.
- **Capítulo 6.** Este Capítulo presenta la herramienta software realizada durante esta memoria de tesis para la gestión centralizada de los procesos de

1.3. Estructura

evaluación del desempeño 360-grados. Mostraremos sus distintas utilidades y cómo llevar a cabo los procesos de evaluación del desempeño integral mediante dicha herramienta.

- **Capítulo 7.** Finalmente, este Capítulo señala las conclusiones y los resultados más destacados obtenidos durante el proceso de investigación llevado a cabo, así como las posibles nuevas líneas de investigación a seguir en el futuro.

Esta memoria de investigación se complementa con dos **Apéndices** que amplían la información de diversos conceptos y metodologías que se tratan a lo largo de la investigación realizada.

- **Apéndice A.** Este Apéndice está centrado en revisar nociones y conceptos básicos sobre la teoría de conjuntos difusos, el enfoque lingüístico difuso y el modelo lingüístico 2-tupla.
- **Apéndice B.** Este Apéndice está enfocado en revisar medidas difusas e integrales difusas, prestando especial atención a la Integral de Choquet discreta para valoraciones lingüísticas 2-tupla.

Finalmente, la memoria concluye con una **Recopilación Bibliográfica** de las fuentes más destacadas de la materia estudiada.

Capítulo 2

Evaluación del desempeño y toma de decisiones

Los departamentos de Recursos Humanos de muchas empresas evalúan continuamente el rendimiento de los empleados con el fin de llevar a cabo políticas propias del mismo, como pueden ser las políticas de mejoras salariales, planes de formación o estrategias de promoción. Así, un proceso de evaluación puede ser visto como un problema de toma de decisiones donde se realiza un estudio metódico y analítico de las alternativas del problema y los criterios que caracterizan al conjunto de alternativas. Por esta razón, en este Capítulo, se revisan algunos de los conceptos básicos y características propias de la Teoría de Decisión, así como su relación con los procesos de evaluación, centrándose posteriormente en los procesos de evaluación del desempeño integral.

2.1. Introducción

La toma de decisiones en las empresas es un proceso habitual que se realiza en gran parte de sus departamentos. En esta memoria de investigación fijaremos nuestra atención en los procesos de evaluación y toma de decisiones realizados por el departamento de Recursos Humanos, en concreto, en el proceso de evaluación del rendimiento de los empleados.

Por este motivo inicialmente llevaremos a cabo una revisión detallada de la estructura y características presentes en los procesos de evaluación así como

algunos de los conceptos básicos propios de los problemas abordados desde la Teoría de Decisión y su relación con los procesos de evaluación.

Posteriormente centraremos nuestra atención en las diferentes metodologías de evaluación del desempeño más utilizadas actualmente en las empresas, poniendo de relieve sus problemas más comunes. Una vez analizados estos procesos y sus problemas, pondremos nuestro interés en una de las metodologías de evaluación de desempeño que recientemente ha sido ampliamente aplicada en las empresas y será utilizada en esta memoria de investigación: la evaluación del desempeño 360-grados o evaluación de desempeño integral.

Para completar el Capítulo, se describe el proceso general de evaluación de desempeño integral desde la perspectiva del análisis de decisión, revisando las características y la clasificación de los problemas de toma de decisiones, el modelado de la información y, por último, las fases que componen el proceso de evaluación del desempeño.

2.2. Análisis de decisión y evaluación

Según la Real Academia Española de la Lengua *decidir* es “*formar un juicio definitivo sobre algo dudoso o contestable*” es decir, elegir de manera consciente una o varias alternativas de un conjunto de opciones, siempre persiguiendo un objetivo concreto¹.

Los problemas de toma de decisiones presentan unas características básicas y comunes, entre las que se pueden destacar, un conjunto finito de soluciones o de decisiones posibles, un criterio o conjunto finito de criterios a tener en cuenta, un conjunto de valoraciones realizadas por el individuo o individuos para cada criterio y un conjunto de circunstancias o elementos que definen el entorno o contexto del problema de decisión (véase [33]).

En la resolución de un problema de toma de decisiones se pueden distinguir diferentes fases (ver Figura 2.1 [35]). Las siete primeras fases de dicho proceso se denominan *análisis de decisión* y llevan a cabo un procedimiento de análisis de las alternativas de forma racional. La última fase del proceso donde se lleva a cabo la elección de la mejor alternativa, puede realizarse de forma racional y, en

¹<http://www.rae.es>

2.2. Análisis de decisión y evaluación

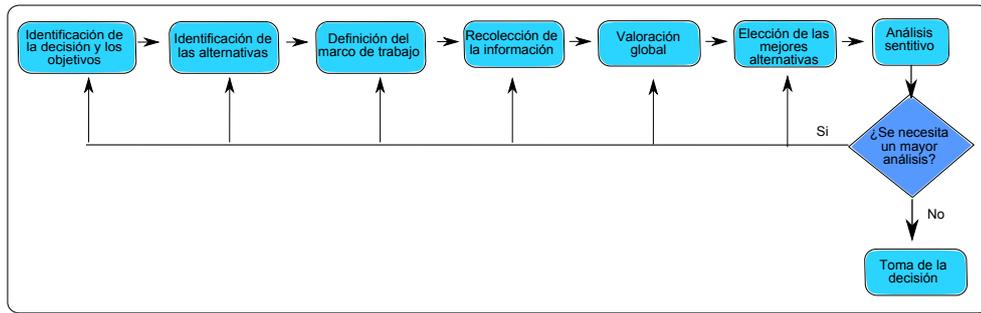


Figura 2.1: Esquema general de resolución de un problema de toma de decisiones

ocasiones, puede verse afectada por factores de diferente índole como políticos, sociales, emocionales, etc. Desde el punto de vista de la evaluación, el análisis de decisión se ajusta perfectamente a las necesidades y objetivos que persiguen los procesos de evaluación, ya que realiza un estudio metódico y razonado de las distintas alternativas planteadas en el problema de decisión [20, 22, 35].

Así, en la literatura existente se pueden destacar, entre otros, diversos campos y contextos de aplicación donde el uso de modelos de decisión para llevar a cabo procesos de evaluación ha obtenido excelentes resultados: eficiencia energética [79, 115], herramientas de promoción [78], selección de proveedores y la evaluación en una cadena de suministro [31], calidad de servicio [121], bibliotecas digitales [26], sistemas de evaluación [114], desarrollo de nuevos productos [89], etc.

Chernoff en su libro *Elementary decision theory* [33] señala que la evaluación es un proceso cognitivo complejo que implica una serie de fases tales como la selección de los elementos a evaluar, la definición del contexto sobre el que se va a realizar la evaluación, la recolección de valoraciones u opiniones emitidas por los evaluadores y, por último, el cálculo de una valoración global que resuma los elementos evaluados.

Por tanto, los modelos de evaluación del desempeño propuestos en esta memoria estarán basados en el análisis de decisión, centrandó nuestro interés en las fases directamente relacionadas con los proceso de evaluación (véase Figura 2.2).

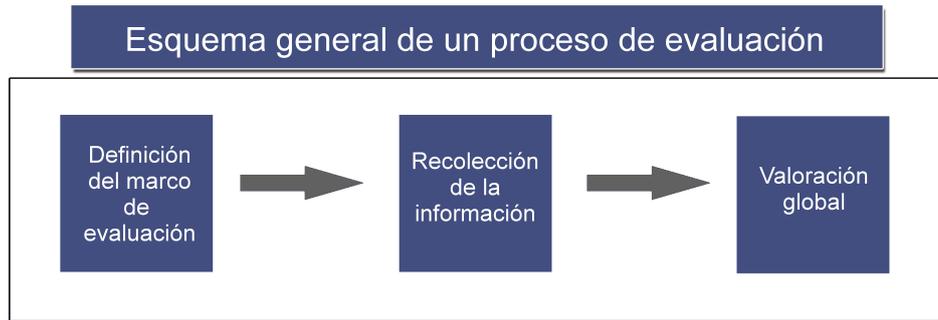


Figura 2.2: Esquema general de un proceso de evaluación

2.3. El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones

La mayor parte de las empresas vanguardistas son conscientes de que ser competitivas en un mercado globalizado depende en gran medida de un desarrollo continuo de su capital humano. Debido a este hecho, las grandes empresas tratan de involucrar a sus empleados en sus propios éxitos o fracasos mediante la creación de incentivos, principalmente a través de remuneraciones variables ligadas a la consecución de objetivos, así como de políticas de promoción, despidos y formación.

Uno de los objetivos fundamentales del departamento de Recursos Humanos de una empresa es la administración del capital humano, consistente en la medición de las relaciones entre el capital humano de la empresa y el resultado financiero obtenido por ésta [21]. Según Mondy y Noe [102], es fácil comprobar que la mayoría de los activos que posee una empresa están representados por su capital humano (alrededor del 80%), pero es muy difícil medir cómo éste contribuye al resultado financiero de la empresa.

La evaluación del desempeño constituye desde la época de los 80's un punto de partida esencial para la política de incentivos de las empresas, así como para la mejora de sus resultados. Algunos de dichos aspectos pueden verse en [5], [10], [11], [21], [29], [56], [58], [60], [83], [85], [97], [99], [103], [105], [123].

Existen diversas definiciones sobre evaluación del desempeño, aunque en

2.3. El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones

general, podemos decir que la evaluación del desempeño es un sistema formal de evaluación del rendimiento de los empleados, en el que se tiene en cuenta la aportación que cada empleado realiza al cumplimiento de los objetivos marcados por la empresa durante un periodo de tiempo determinado. Así, la evaluación del desempeño consiste en estimar aproximadamente 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, es decir, estiman el rendimiento global del empleado (véanse [5], [10], [11], [21], [29], [36], [56], [58], [60], [83], [85], [97], [99], [105] y [123] entre otros).

El proceso de evaluación del desempeño es un instrumento al servicio de las organizaciones y empresas mediante el cual se pretende alcanzar diferentes propósitos. Este proceso no solo es un método utilizado con el objetivo de mejorar el desempeño de los trabajadores y el organizacional, sino que puede realizarse atendiendo a otros objetivos. Las funciones que puede cumplir un proceso de evaluación del desempeño son las siguientes [57, 102]:

- Proporcionar un juicio sistemático para fundamentar aumentos salariales, promociones y, en otras ocasiones, despidos.
- Permitir comunicar a los empleados cómo marchan en su trabajo y qué deben cambiar en su comportamiento, habilidades o conocimientos.

En definitiva, a través de la evaluación del desempeño las empresas y organizaciones obtienen información para la toma de decisiones en todos los aspectos anteriormente mencionados.

En cuanto a los criterios que pueden ser analizados por las compañías en el proceso de evaluación del desempeño, hay que destacar que son de diferente índole y se pueden clasificar en 3 grandes categorías [6, 57, 102]:

1. Criterios establecidos sobre el comportamiento del empleado

Este tipo de criterios son utilizados en el proceso de evaluación del desempeño cuando el comportamiento del empleado está directamente relacionado con el desempeño de su trabajo. En este conjunto de criterios se incluyen los comportamientos propiamente dichos, las competencias y el potencial de mejora del trabajador.

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

2. Criterios establecidos sobre los rasgos del empleado

En esta categoría se incluyen todos aquellos criterios relacionados con habilidades y características personales de los trabajadores. La actitud, la apariencia, la iniciativa, la capacidad para tomar decisiones, la lealtad a la empresa, las habilidades de comunicación, etc., son algunos ejemplos. Este tipo de criterios son muy fáciles de establecer por la compañía pero presentan graves problemas, como son la subjetividad y la validación, debido justamente a la falta de objetividad en este tipo de criterios.

3. Criterios establecidos sobre los resultados obtenidos por el empleado

La consecución de metas u objetivos sobre la producción o las ventas son algunos de los criterios más usados por las empresas, aunque no por ello son los mejores para evaluar correctamente el desempeño de los empleados. La utilización de este tipo de criterios en los procesos de evaluación, supone la necesidad de clasificar las metas u objetivos según los diferentes niveles jerárquicos establecidos en la compañía.

El éxito de los procesos de evaluación de los empleados depende en gran medida de las características que presenten los criterios de evaluación establecidos por las empresas. Para que dicho proceso tenga éxito y las valoraciones de los empleados se ajusten lo más posible a la realidad, es necesario que la empresa establezca criterios:

- *Válidos*. Los criterios de evaluación tienen que recoger los aspectos y las características más importantes del puesto de trabajo a evaluar.
- *Libres de subjetividad*. Los criterios de evaluación deben evitar incluir aspectos como la religión, el sexo, la nacionalidad, etc.
- *Reales*. La falta de realidad en los criterios puede llevar a la obtención de resultados erróneos en el proceso de evaluación.
- *Prácticos*. El sistema de evaluación tiene que ser práctico, por lo que hay que contar con criterios que evalúen aspectos importantes y relevantes.

2.3.1. Métodos clásicos de evaluación del desempeño

Los procesos de evaluación del desempeño se pueden realizar siguiendo diferentes metodologías, aunque podemos clasificarlos en dos grandes categorías [57, 60, 102]: métodos que utilizan criterios objetivos en el proceso de evaluación y aquéllos que utilizan criterios subjetivos.

- **Métodos de evaluación basados en información objetiva.** Este tipo de procedimientos se basan principalmente en la medición de criterios cuantificables objetivamente. Son los más usados por las compañías y los más sencillos de gestionar y desarrollar. Algunos ejemplos de este tipo de métodos son los basados en la medición de la producción, los basados en el nivel de ventas, los basados en datos personales, los basados en test o pruebas, métodos de evaluación de directivos, etc.
- **Métodos de evaluación basados en información subjetiva.** La mayoría de las empresas utilizan criterios subjetivos en el proceso de evaluación de sus empleados. La justificación del uso de este tipo de criterios se basa en el hecho de que el desempeño de un empleado no debe basarse únicamente en los resultados productivos obtenidos por el mismo, sino que hay todo un conjunto de comportamientos, habilidades, cualidades, etc., que forman parte de ese desempeño y que por tanto deben ser incluidos en dicho proceso. Algunos ejemplos de este tipo de métodos son: los métodos de comparación por ranking, de comparación por pares, de las distribuciones forzadas, etc., en cuanto a métodos comparativos (*ranking methods*) y los métodos de las escalas gráficas, de elección forzada, de incidentes críticos, de las escalas de calificación basadas en el comportamiento (BARS), etc., en cuanto a métodos absolutos (*rating methods*).

A pesar de los múltiples y diferentes métodos clásicos de evaluación del desempeño existentes, todos ellos presentan una serie de problemas comunes, los cuales son la base de la mayoría de las críticas realizadas a dichos procesos. Algunos de los problemas más comunes presentes en los procesos de evaluación son [57, 60, 102]:

- **Falta de objetividad.** La falta de objetividad es uno de los mayores problemas que puede presentar un proceso de evaluación del desempeño.

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

Este problema suele aparecer en los métodos de evaluación que utilizan información subjetiva en el proceso.

- *Prejuicios o errores halo.* Uno de los problemas más típicos en los procesos de evaluación. El error halo consiste en trasladar una evaluación positiva o negativa en un determinado criterio a todos los demás criterios en los que es evaluado el empleado.
- *Indulgencia y exigencia.* La indulgencia se produce cuando los empleados son siempre valorados de manera positiva y alta. La exigencia se produce cuando los empleados son siempre evaluados de manera deficitaria.
- *Tendencia central.* Este problema aparece cuando los trabajadores son valorados siempre dentro del promedio de la escala en la que son evaluados.
- *Prejuicio de comportamiento reciente.* Este problema aparece debido al conocimiento previo que tienen los empleados de la realización del proceso de evaluación. Los empleados, consciente o inconscientemente, durante las semanas previas al proceso de evaluación cambian su comportamiento y sus resultados en el trabajo, mejorando de forma notable en muchos casos su desempeño.
- *Prejuicio personal.* En los EEUU, el prejuicio personal es, en muchos casos, una de las justificaciones más utilizadas para presentar recursos judiciales ante despidos improcedentes. Los más comunes en las empresas son el género, la raza, la religión y la edad.
- *Manipulación de la evaluación.* En este caso, y posteriormente al proceso de evaluación, los evaluadores manipulan los resultados obtenidos en el proceso de evaluación.

Aunque son muchos los problemas que presentan los procesos clásicos de evaluación del desempeño, también son muchos los beneficios derivados de su puesta en práctica. Algunos de los beneficios que aporta la evaluación del desempeño a la empresa son:

- Permiten a la empresa evaluar su capital humano y determinar su aportación a la compañía.

2.3. El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones

- Tras la obtención de los resultados de la evaluación, la empresa puede mejorar el rendimiento de sus empleados, conocer sus puntos débiles y presentar programas de mejora, así como identificar sus puntos fuertes y potenciarlos.
- Estimulan la productividad y mejoran la eficiencia y eficacia de los trabajadores.

En cualquier caso, las políticas de evaluación consiguen los objetivos establecidos, siempre y cuando el sistema de evaluación establecido sea válido, efectivo y aceptado tanto por los evaluadores como por los evaluados.

2.3.2. Evaluación del desempeño integral o evaluación de 360-grados

Las políticas de evaluación clásicas generalmente han venido siendo realizadas directamente por los equipos directivos, que finalmente son los que toman decisiones sobre el departamento de Recursos Humanos. Sin embargo, los profundos cambios en las estructuras organizativas han provocado que cada vez más empresas y organizaciones no solo tengan en cuenta las opiniones de los directivos sino que incluyan en el proceso de evaluación las opiniones de los compañeros de la persona evaluada, así como la de subordinados, colaboradores, clientes, e incluso la que el propio individuo tiene sobre sí mismo (ver Figura 2.3); este proceso de evaluación del desempeño es conocido como *360-grados* o *integral* [53, 60, 93, 123].

La utilización de este tipo de evaluación permite obtener a las empresas opiniones de diferente índole sobre el rendimiento de un trabajador, lo que permite mejorar los resultados del proceso y evitar, en parte, algunos de los problemas derivados de las metodologías tradicionales de evaluación del desempeño. Este sistema empezó a utilizarse de forma intensiva en EEUU a mediados de los años 80's, principalmente para la evaluación de altos directivos.

Por otra parte, al igual que las metodologías tradicionales o clásicas, la evaluación integral o de 360-grados se puede realizar tanto con el uso de criterios objetivos como subjetivos.

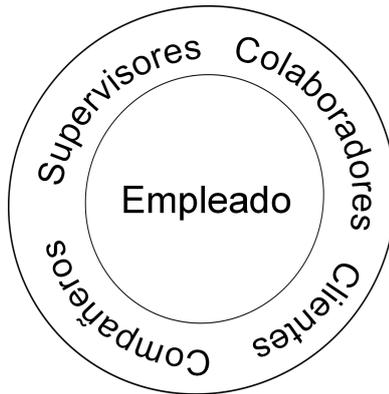


Figura 2.3: Evaluación del desempeño integral o 360-grados

Algunas de las ventajas de la utilización de este sistema de evaluación frente a los métodos tradicionales o clásicos son [47]:

- Recopila opiniones desde varias y diferentes perspectivas, por lo que se 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, cabe señalar que sobre este sistema también subyace alguna desventaja como es la carga computacional al calcular las valoraciones globales de cada empleado [47].

En vista de la revisión realizada, se puede concluir que la evaluación 360-grados aporta mejoras frente a las metodologías clásicas y tradicionales de evaluación del desempeño, por lo que en esta memoria se ha adoptado este tipo de metodología como modelo de evaluación, teniendo presente la desventaja que este sistema presenta, la cual será vencida con la propuesta de una herramienta software para automatizar los procesos computacionales.

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

Una de las características propias de los modelos de evaluación presentes en esta memoria es el hecho de que se van a basar en el enfoque de análisis de la decisión mencionado en la Sección 2.2 y, por tanto, deberán seguir el esquema básico presentado en la Figura 2.2. Esta particularidad, junto con la de tener que evaluar a los empleados atendiendo a diferentes criterios, objetivos y subjetivos, y teniendo en cuenta la opinión de diversos evaluadores, convierte el modelo de evaluación del desempeño presentado en esta memoria, en un problema propio de la Teoría de Decisión. Debido a este hecho, en esta Sección revisaremos brevemente distintos conceptos básicos y características de los problemas de toma de decisiones así como el modelado de la información en este tipo de problemas. Finalmente, se describirá la notación y las características del modelo de evaluación del desempeño integral o 360-grados que servirá de base en nuestra propuesta.

2.4.1. Características y clasificación de los problemas de toma de decisiones

Los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar atendiendo a las características de sus elementos básicos, los cuales se pueden resumir en: un conjunto finito de soluciones o de decisiones posibles, un atributo o conjunto finito de atributos a considerar en la solución, un conjunto de valoraciones para cada atributo y un conjunto de circunstancias o elementos que definen el entorno o contexto de la situación de decisión (véanse [35], [55], [81], [82], [90], [106], [120]).

Teniendo en cuenta estos elementos, los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar atendiendo a los siguientes factores: el contexto o ambiente de decisión en el que se han de tomar las decisiones, al número de expertos que van a participar en el proceso de decisión y al número de atributos que a de tener en cuenta en la toma de decisiones.

En la Figura 2.4 se ilustra una clasificación de los problemas de toma de

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

decisiones en función de los tres puntos de vista comentados anteriormente. A continuación detallaremos brevemente cada factor de la clasificación.

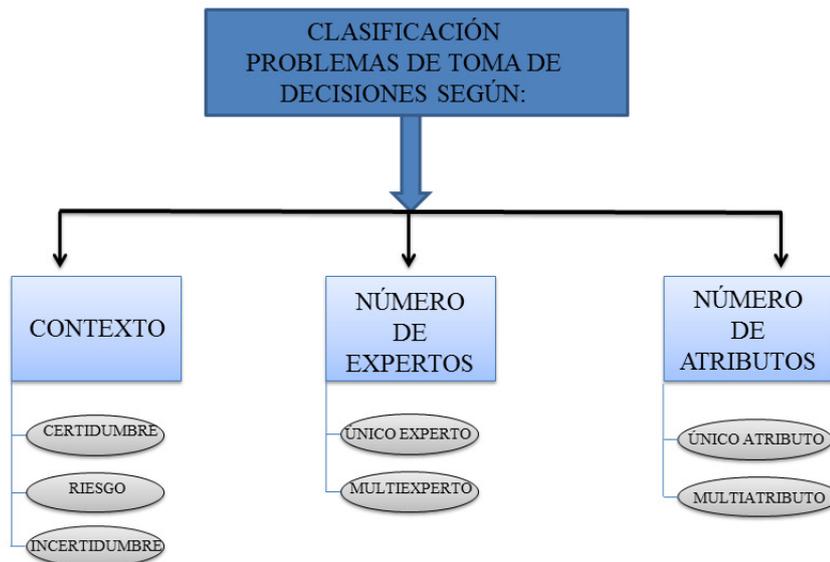


Figura 2.4: Clasificación de los problemas de toma de decisiones

A) Clasificación según el contexto o ambiente de decisión

1. *Contexto o ambiente de certidumbre.* Se dice que un problema de toma de decisiones está definido en un ambiente de certidumbre, cuando todos los elementos o factores que intervienen en el problema son conocidos con exactitud. En este caso para valorar cada una de las alternativas presentadas se suele utilizar valoraciones cuantitativas.
2. *Contexto o ambiente de riesgo.* Se dice que un problema de toma de decisiones está definido en un ambiente de riesgo, cuando hay algunos elementos o factores de los que intervienen en el problema que se rigen por

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

las leyes del azar. En estos casos, los problemas son abordados utilizando la teoría de la probabilidad.

3. *Contexto o ambiente de incertidumbre.* Se dice que un problema de toma de decisiones está definido en un ambiente de incertidumbre, cuando la información disponible sobre las opciones elegibles es vaga o imprecisa. Este último ámbito o contexto es el que más se aproxima a la toma de decisiones en el mundo real, ya que la imprecisión es inherente a gran cantidad de situaciones de decisión. Normalmente, esta incertidumbre es de naturaleza no-probabilística, ya que dicha incertidumbre está asociada habitualmente con la vaguedad del significado de la información. Algunas de las herramientas más destacadas para modelar la información en este tipo de contextos son la *Teoría de Conjuntos difusos* [50, 135], los *Rough Sets* [52, 63, 80], los *Conjuntos Difusos Intuicionistas* [4, 23], los *Conjuntos Difusos Dudosos* [109, 119], etc.

El problema que abordamos en esta memoria de investigación, la evaluación del desempeño integral, se encuentra definido en un contexto de incertidumbre, en el que la lógica difusa [137] y el enfoque lingüístico difuso [138] serán utilizados para el tratamiento de dicha incertidumbre.

B) Clasificación según el número de expertos

1. *Unipersonales o individuales.* En los problemas de toma de decisiones unipersonales o individuales cada alternativa es valorada por un único experto.
2. *Multiexperto.* En los problemas de decisión en grupo o multiexperto cada alternativa es valorada por un colectivo o grupo de expertos.

Los problemas tratados en esta memoria de investigación se encuentran definidos dentro de la categoría de multiexperto, ya que son diversos los colectivos que valoran a cada uno de los empleados evaluados en el proceso.

C) Clasificación según el número de atributos

1. *Problemas con un único atributo.* En los problemas de toma de decisiones de un único atributo, cada alternativa es caracterizada por un único valor.

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

2. *Problemas multiatributo*. Son problemas de toma de decisiones en los que, para realizar la valoración de las alternativas presentadas, se han de tener en cuenta dos o más atributos.

En el caso de múltiples atributos es importante tener en cuenta si existe o no interacción entre los mismos, pudiéndose clasificar los problemas de toma de decisiones con múltiples atributos en independientes o dependientes:

- *Atributos independientes*. Cuando no existe interacciones entre los atributos del problema de toma de decisiones.
- *Atributos dependientes*. Cuando la presencia de varios atributos simultáneamente provoca interacciones entre ellos, modificando su comportamiento. En estos casos, se pueden clasificar los atributos dependientes con interacciones positivas o negativas, dependiendo del comportamiento que provoca la interacción entre ellos.
 - Si la interacción entre los atributos provoca una cooperación, mejora o aplicación, la interacción es positiva.
 - Si la interacción genere una incompatibilidad, rivalidad o inhibición, la interacción es negativa.

Para una revisión en mayor profundidad de problemas de toma de decisiones con múltiples atributos y posible dependencia entre ellos, véanse [61] y [92].

Desde la perspectiva de decisión, el término atributo es un hipónimo de criterio, ya que un problema de toma de decisiones multicriterio puede clasificarse en multiatributo o multiobjetivo [81]. En cambio, desde la perspectiva de evaluación del desempeño integral, criterio y atributo son sinónimos, siendo criterio, el sustantivo más utilizado para referirse al aspecto a evaluar por un empleado. Dado que esta memoria de investigación se centra en procesos de evaluación del desempeño, el término de criterio será utilizado para referirse a los aspectos a evaluar de un empleado.

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

2.4.2. Modelado de la información en los problemas de toma de decisiones

Una vez revisada la clasificación de los problemas de toma de decisiones, a continuación realizaremos una revisión sobre los dominios de expresión en los que pueden estar expresadas las opiniones o valoraciones de los expertos ya que, la naturaleza de los criterios así como el conocimiento y la formación con la que cuentan los expertos sobre los criterios a evaluar, influyen a la hora de definir el tipo de información a usar [48, 59, 111].

En los problemas de toma de decisiones, la elección del dominio de expresión para expresar las valoraciones puede deberse a varios factores:

1. *Naturaleza de la información: cuantitativa o cualitativa.* Según el tipo o naturaleza de los criterios a valorar, el dominio de expresión de la información puede ser distinto. Los criterios precisos y de naturaleza cuantitativa se adaptan mejor a valoraciones de tipo numérico que los de naturaleza cualitativa, en los que al trabajar con sensaciones o percepciones subjetivas, suele ser más adecuado el uso de otro tipo de valoraciones como palabras o términos lingüísticos.
2. *Expertos de diferentes áreas de conocimiento.* Los expertos suelen sentirse más cómodos al utilizar un dominio de expresión que les resulte más cercano al tipo de información con la que suelen trabajar en su área de trabajo. Por ello normalmente los pertenecientes a áreas técnicas se sienten más cómodos utilizando valoraciones numéricas, frente a los pertenecientes a áreas sociales, los cuales suelen preferir utilizar otro tipo de valoraciones no numéricas tales como las lingüísticas.
3. *Expertos con diferente grado de conocimiento sobre el problema planteado.* Expertos con experiencia en resolución de problemas sobre un determinado tema, suelen optar por elegir dominios de expresión con una alta granularidad o grano fino, mientras que expertos con menor experiencia en dicho tema, se sienten más cómodos usando una granularidad baja o de grano grueso.

Teniendo en cuenta los factores anteriores, la información emitida por los

expertos puede ser expresada en distintos dominios de expresión, siendo los más comunes los siguientes:

1. *Dominio Numérico* [108, 110]
2. *Dominio Intervalar* [12, 24]
3. *Dominio Lingüístico* [32, 64, 117]

En esta memoria de investigación se propone un modelo de evaluación de desempeño capaz de manejar información heterogénea, es decir, información expresada en diferentes dominios de expresión como el numérico, el intervalar y el lingüístico, ya que en los procesos de evaluación del desempeño integral se evalúan criterios de diferente naturaleza donde los colectivos de evaluadores poseen distinto grado de conocimiento.

2.4.3. Proceso de evaluación del desempeño integral desde la perspectiva del análisis de la decisión

El proceso de evaluación del desempeño integral que en esta Sección se revisa, servirá de base para la propuesta del nuevo modelo de evaluación de desempeño integral con información heterogénea considerando la dependencia de criterios, que en esta memoria de investigación se presenta.

En la Figura 2.5 se ilustra el proceso general de evaluación del desempeño integral desde la perspectiva del análisis de decisión y, posteriormente, se detallan cada una de sus principales fases.

2.4.3.1. Definición del marco de evaluación

Consideraremos a una empresa que desea llevar a cabo un proceso de evaluación del desempeño integral de sus empleados, siendo $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 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: $C = \{c_1, \dots, c_t\}$.

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

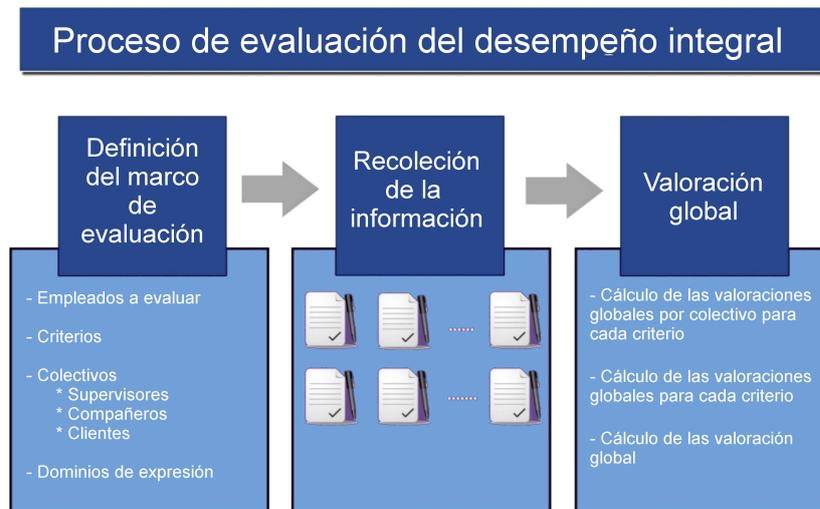


Figura 2.5: Proceso de evaluación del desempeño integral o 360-grados

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 establecidos por la compañía, $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$. Los criterios utilizados pueden ser objetivos o subjetivos en función de los propósitos establecidos por la empresa. Como comentamos anteriormente, podrán ser diversos los dominios de expresión utilizados por los colectivos para valorar el conjunto de criterios, en nuestro caso: numérico, intervalar y/o lingüístico.

2.4.3.2. Recolección de la información

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} y 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 .

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

- 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 al criterio Y_k . De esta manera, se dispondrá como máximo de $(r + s + t + 1) \times p$ opiniones para cada empleado procedentes de los diferentes colectivos e incluyendo la opinión que cada empleado tiene sobre sí mismo. En la Tabla 2.1 se presenta un resumen de las valoraciones obtenidas para un empleado, x_j , y un criterio y_k .

Colectivo de evaluadores	Vector de valoraciones individuales
Supervisores	$(a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk})$
Colaboradores o compañeros	$(b_j^{1k}, \dots, b_j^{sk})$
Clientes o subordinados	$(c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk})$
Empleado	(x_j^{jk})

Tabla 2.1: Recolección de las valoraciones emitidas por los distintos expertos

Siguiendo el esquema de resolución establecido en la Figura 2.5, a continuación se describen detalladamente las distintas etapas que forman parte del proceso de obtención de la valoración global de los empleados en un proceso de evaluación integral.

2.4.3.3. Valoración global

Las empresas necesitan modelos de evaluación del desempeño que sean capaces de ofrecer resultados interpretables por los responsables del departamento de Recursos Humanos [28]. Debido a la importancia de este hecho, en este modelo se incorporan procesos de agregación multi-etapa que facilitan la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación, incluyendo valoraciones parciales o intermedias para cada empleado en función de los diferentes colectivos de evaluadores involucrados en el proceso y en función de los diferentes criterios

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

considerados. En la Figura 2.6 se pueden ver las distintas etapas que van a ser consideradas para la obtención de la valoración global de un empleado. A continuación se describirán detalladamente cada una de estas etapas.

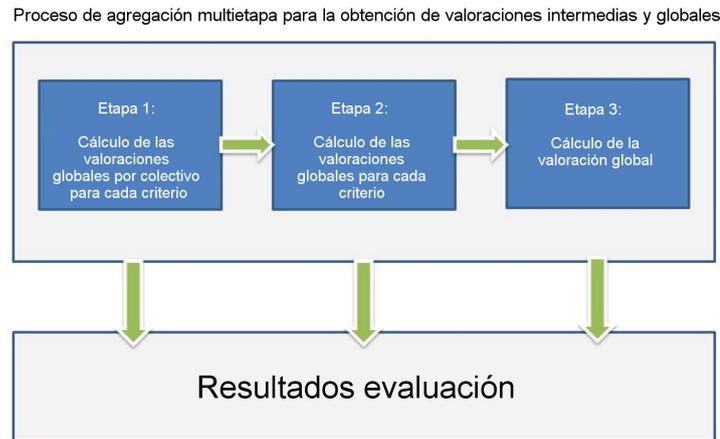


Figura 2.6: Agregación multi-etapa para la obtención de valoraciones intermedias y finales de un proceso de evaluación del desempeño integral

- **Etapa 1: *Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio***

En esta primera etapa del proceso de agregación se computarán las primeras valoraciones para los empleados utilizando la información facilitada por los diferentes colectivos. En concreto se calcularán para cada colectivo, para cada criterio, Y_k , y cada empleado evaluado, x_j , las siguientes valoraciones colectivas (ver Tabla 2.2):

- Supervisores

$$v_A^k(x_j) = Ag_A^k(a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}). \quad (2.1)$$

- Colaboradores o compañeros

$$v_B^k(x_j) = Ag_B^k(b_j^{1k}, \dots, b_j^{sk}). \quad (2.2)$$

- Subordinados o clientes

$$v_C^k(x_j) = Ag_C^k(c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk}). \quad (2.3)$$

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

Siendo, Ag^- , un operador de agregación genérico que puede variar en función del criterio a evaluar y el colectivo de evaluadores. Éste será detallado en los Capítulos posteriores para cada situación concreta.

Tabla 2.2: Valoraciones globales por colectivo para cada criterio

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

■ **Etapa 2: Cálculo de las valoraciones 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 (ver Tabla 2.3):

$$v^k(x_j) = Ag^k(v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j)). \quad (2.4)$$

Tabla 2.3: Valoraciones globales para cada criterio

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

Al igual que en la fase anterior, Ag^- , es un operador de agregación genérico que puede variar en función del criterio a evaluar. Inicialmente, la opinión del empleado evaluado sobre si mismo no se incluirá en esta etapa del proceso de agregación, ya que la inclusión de esta opinión podría distorsionar la valoración global.

2.4. La evaluación integral o de 360-grados desde la perspectiva del análisis de decisión

■ Etapa 3: Cálculo de la valoración global

La valoración global para cada empleado, x_j , se obtiene agregando las valoraciones globales en los diferentes criterios correspondientes a dicho empleado obtenidas en la fase anterior (ver Tabla 2.4).

$$v(x_j) = Ag(v^1(x_j), \dots, v^p(x_j)). \quad (2.5)$$

Tabla 2.4: Valoraciones globales por empleado

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

Del mismo modo que en las fases anteriores, Ag^- , es un operador de agregación genérico. En este caso sería necesario considerar la posible dependencia de los criterios evaluados con el fin de modelar correctamente dicha dependencia, si existiera, y seleccionar un operador adecuado de agregación que tenga en cuenta dicha dependencia con el fin de proporcionar resultados realistas.

Finalmente, a partir de las diferentes valoraciones obtenidas para cada empleado, valoraciones colectivas por criterio, $v_-^k(x_j)$, valoraciones globales por criterio, $v^k(x_j)$, y valoraciones globales, $v(x_j)$, se puede proceder a la ordenación de los empleados atendiendo a los diferentes procedimientos y teniendo en cuenta los objetivos fijados por el departamento de Recursos Humanos.

2. Evaluación del desempeño y toma de decisiones

Capítulo 3

Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

Esta memoria de investigación hace frente al manejo de información heterogénea en un proceso de evaluación del desempeño integral donde la información estará expresada en diversos dominios de expresión, debido a la naturaleza de los criterios a evaluar así como al conocimiento y la formación de los colectivos evaluadores. Este Capítulo revisa distintos modelos de la literatura para manejar información heterogénea en problemas de toma de decisiones, con el objetivo de seleccionar el modelo más adecuado para utilizar en problemas de evaluación del desempeño 360-grados, el cual nos permita obtener resultados intermedios y finales interpretables.

3.1. Introducción

Tal y como se ha revisado en la Sección 2.2, los problemas de evaluación del desempeño siguen una estructura y resolución similar al proceso de análisis de decisión de un problema de toma de decisiones. En dicho proceso, la información proporcionada por los distintos expertos o grupos de expertos participantes puede no estar expresada en el mismo dominio de expresión. Dicho hecho puede deberse a que algunos de los expertos involucrados en el problema pueden tener

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

distinto grado de conocimiento sobre los criterios del problema o provenir de distintas áreas de conocimiento. Además, puede que algunos de los criterios involucrados sean objetivos y cuantificables y otros sean de tipo cualitativo y presenten subjetividad e imprecisión.

Centrándonos en los procesos de evaluación del desempeño, nos encontramos ante procesos donde las valoraciones de un empleado pueden estar expresadas en diversos dominios de expresión como el numérico, intervalar y lingüístico. Por tanto, es necesario aplicar un modelo que permita manejar este tipo de información para operar sobre ella y obtener valoraciones intermedias y globales del conjunto de empleados que sean interpretables.

Una vez vista la necesidad de seleccionar un modelo para tratar dicha información heterogénea, realizamos una breve revisión de los modelos más extendidos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones y revisamos en profundidad el modelo que mejor se adapte a nuestras necesidades.

Finalmente, antes de comenzar con la revisión, cabe destacar que los modelos para el tratamiento de información heterogénea que revisaremos en esta memoria hacen uso de diferentes conceptos y metodologías. En la revisión de dichos modelos no se ha profundizado sobre los conceptos y nociones que son utilizados en los mismos, ya que se encuentran fuera del alcance de esta memoria de investigación. Por ello, en la revisión se hace alusión a los trabajos donde se puede ampliar la información y, además, se ha incluido el Apéndice A, el cual incluye los conceptos importantes relacionados con la revisión como: la teoría de conjuntos difusos, el enfoque lingüístico difuso y el modelo lingüístico 2-tupla.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

Para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones, cabe destacar las propuestas presentadas en [30, 42, 72, 87, 88, 139] que proponen diversos modelos para operar con dicha información.

Dichos modelos pueden clasificarse en dos categorías atendiendo al esquema que siguen para manejar la información heterogénea:

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

- Enfoque basado en la manipulación directa de la información heterogénea.
- Enfoque basado en la unificación de la información heterogénea en un único dominio de expresión.

Atendiendo a dicha clasificación, podemos distinguir en el tratamiento de información heterogénea, por un lado, un esquema que permite operar directamente sobre los distintos tipos de información de forma independiente y, por otro lado, un esquema que unifica dicha información a un único dominio de expresión para posteriormente operar sobre ella y obtener los resultados en el dominio de unificación.

La Figura 3.1 presenta una taxonomía general de los distintos modelos existentes en la literatura para el tratamiento de información heterogénea, manteniendo la división entre los enfoques de tratamiento directo de la información heterogénea y los de unificación de ésta en un único dominio.

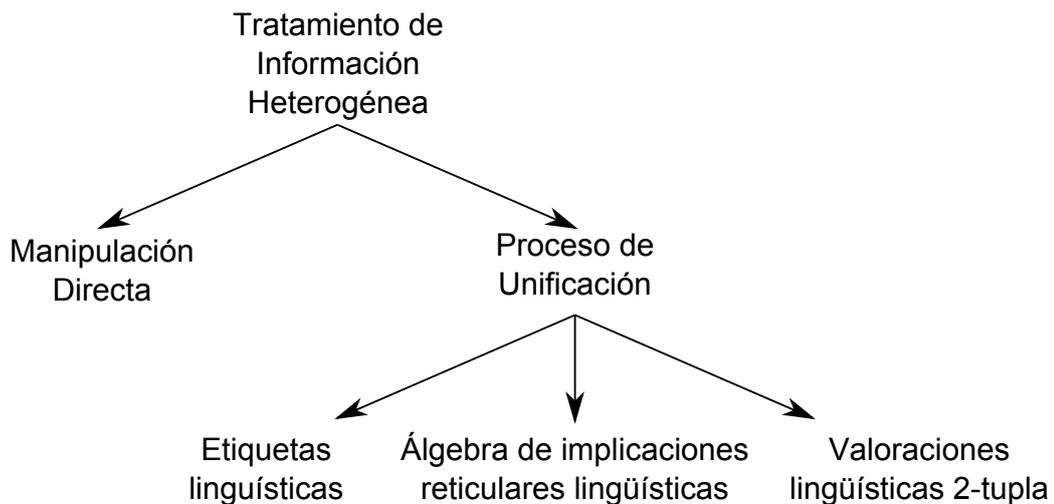


Figura 3.1: Taxonomía de modelos para el tratamiento de información heterogénea

En nuestro caso particular, en los enfoques de unificación de información heterogénea en un único dominio, nos hemos centrado exclusivamente en aquellos enfoques que unifican la información heterogénea en valores en un dominio lingüístico, ya que esta memoria de investigación persigue el objetivo de obtener resultados fácilmente interpretables. Así, cabe indicar que algunos modelos

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

unifican la información en otro tipo de dominios de expresión, como por ejemplo el dominio numérico [42], al estar alejado dicho proceso de unificación de nuestros objetivos, no es revisado.

En un contexto heterogéneo, la información cuantitativa, ya sea expresada mediante valores numéricos o valores intervalares, puede estar valorada en diferentes rangos. Con el fin de operar de forma consistente sobre dicha información, es necesario normalizarla. Así, en los modelos de tratamiento de información heterogénea la información heterogénea se encuentra normalizada en el intervalo $[0,1]$ (Véase [81]).

En el Apéndice A podemos encontrar una breve revisión sobre algunos conceptos necesarios para la comprensión de los distintos modelos para tratamiento de información heterogénea que vamos a revisar a continuación, como son la teoría de conjuntos difusos, el enfoque lingüístico difuso y el modelo de representación computacional lingüístico 2-tupla.

3.2.1. Enfoque basado en la manipulación directa de la información heterogénea

El enfoque basado en manipulación directa de la información heterogénea opera directamente sobre las valoraciones expresadas en el mismo dominio de expresión sin unificarla. La información numérica, intervalar y lingüística son, por tanto, tratadas de forma independiente.

Este modelo fue propuesto por Deng-Feng Li y otros en [87] para operar con información heterogénea, basándose en el cálculo de un coeficiente de cercanía o distancia entre la Solución Ideal (IS) y la Solución Ideal Negativa (NIS) denominado RCIN (Relative Closeness to the Ideal solution and Negative ideal solution).

En la Figura 3.2 se ilustra el modelo basado en la manipulación directa de la información heterogénea. En este modelo se puede observar el tratamiento diferenciado para cada dominio de expresión. Por tanto, éste opera directamente sobre la información numérica, la información intervalar y la información lingüística de forma independiente, para computar el RCIN para resolver el problema de toma de decisiones.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

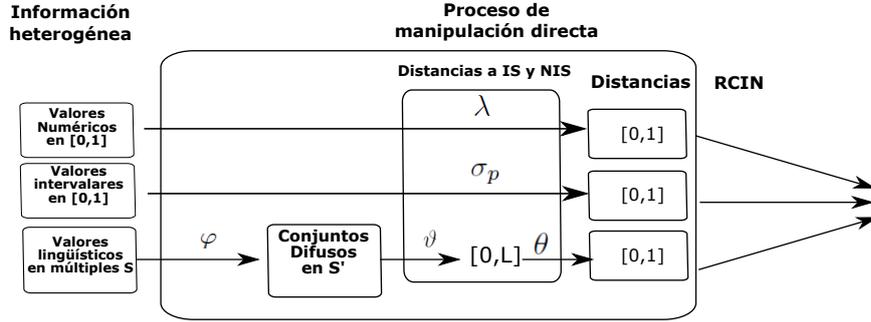


Figura 3.2: Modelo de manipulación directa de información heterogénea

El proceso comienza transformando la información lingüística a valores en conjuntos difusos de un conjunto básico de etiquetas lingüísticas $S' = \{s'_0, s'_1, \dots, s'_L\}$ fijado para el problema de toma de decisiones. Dicho conjunto posee una granularidad L , siempre mayor o igual que cualquier conjunto de etiquetas lingüísticas utilizado en el contexto heterogéneo. Para ello, se propone la utilización de la función de transformación propuesta por Herrera y Herrera-Viedma en [64], la cual se define como sigue:

Definición 1 [64] Dado $s \in S$, de tal forma que $S = \{s_j, j = 1, \dots, h\}$ y el conjunto de términos lingüísticos $S' = \{s'_0, s'_1, \dots, s'_L\}$ con $h \leq L$, la función de transformación lingüística, $\varphi : S \rightarrow F(S')$, es definida por:

$$\varphi(s) = \sum_{i=0}^L (s'_i / \gamma_i) \quad (3.1)$$

donde $\gamma_i = \max_y \min\{\mu_{s_j}(y), \mu_{s_i}(y)\}$, $i = \{0, \dots, L\}$ y $\mu_{s_j}(y)$ y $\mu_{s_i}(y)$ identifican a las funciones de pertenencia asociada a las etiquetas s_j y s_i , respectivamente.

A continuación, se propone el cálculo de las distancia relativas entre la IS y la NIS para cada dominio de expresión. Dichas funciones de distancias están basadas en la distancia de Minkowski [100], definida como:

Definición 2 [100]. La distancia de Minkowski de orden p entre 2 valores $a, b \in \mathbb{R}$, siendo $p \geq 1$, viene determinada por una función $d : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, la cual es definida como:

$$d_p(a, b) = (|a - b|^p)^{1/p} \quad (3.2)$$

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

A continuación se indican las funciones de distancia que se proponen en [87] para cada uno de los dominios de expresión: numérico, intervalar y lingüístico.

Definición 3 [87]. Sean $r \in [0, 1]$ y $e \in [0, 1]$ dos valores numéricos definidos en el intervalo unidad, entonces la función $\lambda : ([0, 1] \times [0, 1]) \rightarrow [0, 1]$ que representa la distancia de Minkowski entre dichos valores numéricos, con $p=1$, es definida como:

$$\lambda(r, e) = |r - e| \quad (3.3)$$

donde $0 \leq \lambda(r, e) \leq 1$.

Definición 4 [87] Sean $a \in P([0, 1])$ y $b \in P([0, 1])$ dos valores intervalares definidos en el intervalo unidad, entonces la función $\sigma : (P([0, 1]) \times P([0, 1])) \rightarrow [0, 1]$ que representa la distancia de Minkowski, con $p \geq 1$, entre dichos valores intervalares, es definida como:

$$\sigma_p(a, b) = \sqrt[p]{(1/2)[(b - a)^p + (a - b)^p]} \quad (3.4)$$

donde $0 \leq \sigma_p(a, b) \leq 1$.

Definición 5 [87] Sean $\tilde{A} = \{(s'_0, \gamma_0), (s'_1, \gamma_1), \dots, (s'_L, \gamma_L)\}$ y $\tilde{B} = \{(s'_0, \gamma_0), (s'_1, \gamma_1), \dots, (s'_L, \gamma_L)\}$ dos conjuntos difusos definidos en un conjunto de etiquetas lingüísticas S' con $S' = \{s'_0, s'_1, \dots, s'_L\}$ y granularidad L , la función que transforma un conjunto de conjuntos difusos a un valor numérico en el intervalo de granularidad $[0, L]$ es definida mediante la función $\vartheta : \mathcal{F}(S') \rightarrow [0, L]$ tal que:

$$\vartheta((s'_0, \gamma_0), (s'_1, \gamma_1), \dots, (s'_L, \gamma_L)) = \left(\frac{\sum_{l=0}^L l \gamma_l}{\sum_{l=0}^L \gamma_l} \right) \in [0, L]. \quad (3.5)$$

la función $\theta : ([0, L] \times [0, L]) \rightarrow [0, 1]$ representa la distancia de Minkowski, con $p = 1$, entre las dos valoraciones expresadas en el intervalo de granularidad de S' , la cual es definida como:

$$\theta(u, v) = |u - v|/L \quad (3.6)$$

donde L es la granularidad del conjunto de términos lingüísticos S' usado y $0 \leq \theta(u, v) \leq 1$.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

Una vez realizado el proceso de manipulación directa de la información y habiendo obtenido las distancias para cada dominio de expresión, se utilizan dichas distancias para calcular el RCIN. Para profundizar más sobre dicho proceso véase [87].

A la luz de la revisión de este modelo, es evidente que éste no facilita algunos de los objetivos perseguidos en esta memoria de investigación para el tratamiento de información heterogénea, ya que no calcula resultados intermedios al no permitir agrupar información sobre criterios que se encuentren expresados en diferentes dominios de expresión. Además, los resultados finales obtenidos no son fácilmente interpretables, ya que el valor final computado es un RCIN, el cual está basado en distancias, por lo que no se calcula un valor global que fusione la información recogida.

3.2.2. Enfoque basado en la unificación de la información heterogénea en un dominio de expresión lingüístico

Este tipo de enfoque persigue unificar la información heterogénea en un único dominio de información común para, posteriormente, operar en dicho dominio de información. En esta Sección nos centraremos en las distintas propuestas [42, 72, 88] donde la información heterogénea es unificada en un dominio lingüístico común.

3.2.2.1. Modelo basado en unificación de la información en etiquetas lingüísticas

Este modelo fue propuesto por Delgado y otros en [42] para operar con información heterogénea expresada en un dominio numérico y en un dominio lingüístico. Cabe destacar que este modelo no maneja valoraciones expresadas en un dominio intervalar y que las valoraciones lingüísticas deben pertenecer a un único conjunto de términos lingüísticos S .

Este modelo contempla unificar la información heterogénea en valores lingüísticos o en valores numéricos. Nosotros nos centraremos únicamente en el modelo para unificar la información heterogénea en valores lingüísticos, ya que deseamos obtener valoraciones que sean fácilmente interpretables.

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

En la Figura 3.3 se ilustra el modelo basado en unificación de la información en etiquetas lingüísticas.

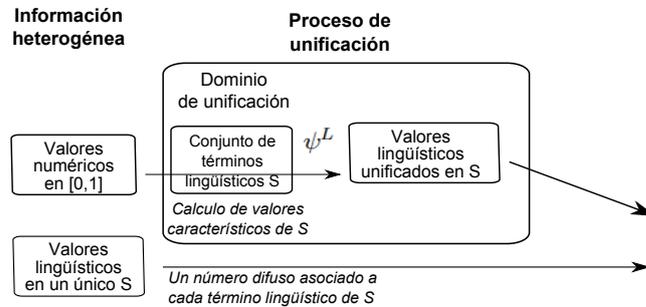


Figura 3.3: Modelo de unificación de información heterogénea en etiquetas lingüísticas

Para transformar los valores numéricos en etiquetas lingüísticas de S , se aplicará la función $\psi^L : [0, 1] \rightarrow S$, la cual permite transformar valores numéricos expresados en el intervalo unidad en valores lingüísticos de un conjunto de términos lingüísticos S , donde cada etiqueta lingüística tendrá asociado un número difuso, del cual se obtendrá el conjunto de valores característicos.

A continuación, se indica la definición de valores característicos asociados a un número difuso y , posteriormente, la función de transformación de un valor numérico definido en el intervalo unidad a una etiqueta lingüística contenida en $S = \{s_i; i = 1, \dots, z\}$, a partir de los valores característicos asociados al número difuso y_i de cada etiqueta $s_i \in S$.

Definición 6 [42]. Sea un $F(\mathcal{R})$ un conjunto de números difusos definido en \mathcal{R} donde cada número difuso $y_i \in F(\mathcal{R})$ tiene asociado una función de pertenencia $\mu_{y_i} : F(\mathcal{R}) \rightarrow [0, 1]$, el conjunto de valores característicos para cada número difuso y_i y notado como $CV_{y_i} = \{C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^z\}$ son valores numéricos que resumen la información de y_i , asumiendo que $C_i^j \in Supp(y_i) = \{r \in \mathcal{R} | \mu_{y_i}(r) > 0\}$.

Sin pérdida de generalidad es posible definir un conjunto de funciones $CF = \{f_j, j = 1, \dots, z\}$ de modo que cada función $f_j : F(\mathcal{R}) \rightarrow \mathcal{R}$ asocia un valor característico a cada número difuso y_i , tal que $f_j(y_i) = C_i^j$.

Por tanto, dado una etiqueta lingüística $s_i \in S$ y suponiendo que ésta tiene asociado un conjunto de valores característicos $CV_{s_i} = \{C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^z\}$

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

obtenidos por medio de un conjunto de funciones características que actúan en su número difuso asociado, $y_{s_i} \in F(\mathcal{R})$, podemos decir que $C_i^1 = f_1(y_{s_i})$, $C_i^2 = f_2(y_{s_i}), \dots, C_i^z = f_j(y_{s_i})$, notándose el *valor característico* de una etiqueta s_i , $f_j(y_{s_i})$, como $G_j(s_i)$.

Definición 7 [42]. Dado $r \in [0, 1]$ un valor numérico y dado un $s_i \in S$ que verifica $h(r, s_i) = \min\{h(r, s_i) | \forall s_i \in S\}$ con

$$h(r, s_i) = \begin{cases} z & \text{si } r \notin \text{soporte}(s_i), \\ \sum_{j=1}^z (r - G_j(s_i))^2 & \text{si } r \in \text{soporte}(s_i) \end{cases} \quad (3.7)$$

donde z es la cardinalidad del conjunto de funciones características CF y $\text{soporte}(\cdot)$ representa el soporte de la etiqueta (ver Apéndice A.1.1.1), entonces la función de transformación numérica-lingüística es definida de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\psi^L : [0, 1] \rightarrow S$$

$$\psi^L(r) = s_i$$

Una vez unificada la información en etiquetas lingüísticas pertenecientes al conjunto de etiquetas lingüísticas S , se aplicarán los operadores de agregación propuestos en [42] para combinar la información y obtener los resultados finales en el dominio lingüístico S .

En vista de la revisión realizada del modelo, detectamos que éste no permite trabajar con diversos conjuntos de términos lingüísticos que tengan distinto número de etiquetas lingüísticas, limitando el dominio de expresión a un único dominio lingüístico con una granularidad fija. Además, dicho modelo no contempla la posibilidad de manejar valoraciones en un dominio intervalar. Por tanto, este modelo no cumple con los objetivos marcados al inicio de la memoria investigación, donde se persigue que los colectivos puedan expresar sus valoraciones lingüísticas en conjuntos de términos lingüísticos adaptados a sus conocimientos y en dominios numéricos e intervalares. Por dicho motivo se descarta la utilización de este modelo en nuestra propuesta.

3.2.2.2. Modelo basado en unificación de la información en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas

Este modelo fue propuesto por Xiaobing Li y otros en [88] para operar con información heterogénea en problemas de toma de decisiones basándose en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas.

La principal novedad de este modelo es que, además de permitir incluir en el contexto heterogéneo valores numéricos e intervalares, permite incluir valores de un único conjunto de términos lingüístico S , el cual puede contener términos lingüísticos comparables y no comparables. Así, la información numérica e intervalar es unificada en un álgebra de implicaciones reticulares de un subconjunto de S , el cual contiene solamente los términos lingüísticos que son comparables. Dicho subconjunto de términos comparables es notado como S^* .

En la Figura 3.4 se ilustra el modelo basado en la unificación de la información en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas.

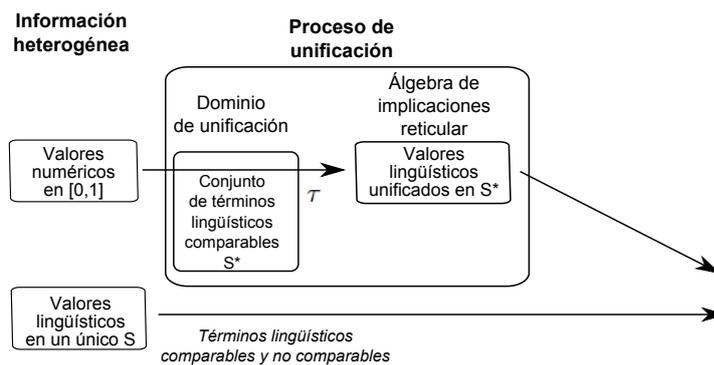


Figura 3.4: Modelo de unificación de información heterogénea en un álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas

En primer lugar, los valores numéricos e intervalares expresados en valores numéricos en el intervalo $[0,1]$ son unificados en S^* . Para ello, se selecciona el subconjunto $S^* = \{s_0, s_1, L, s_n\}$ de S donde L es un álgebra de implicación reticular definida como $(L_i, \vee_i, \wedge_i, ', \rightarrow)$ [88, 127], de tal forma que S^* solamente contiene las etiquetas lingüísticas comparables de S , las cuales satisfacen las siguientes dos condiciones:

- Un operador de negación $Neg : Neg(s_i) = s_j$ tal que $j = n - i$, siendo $n+1$ la cardinalidad del conjunto.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

- Un operador \min y \max en el conjunto de términos lingüísticos:
 $s_i \leq s_j \Leftrightarrow i \leq j$.

Para realizar el proceso de transformación de valores numéricos expresados en el intervalo unidad a etiquetas lingüísticas pertenecientes al álgebra de implicaciones reticulares S^* , se definió la siguiente función de transformación.

Definición 8 [88]. Sea r un valor numérico en el intervalo unidad $r \in [0, 1]$, la función de transformación $\tau : [0, 1] \rightarrow S^*$ que transforma dicho valor a un valor lingüístico perteneciente al conjunto de términos lingüístico comparables de S , S^* , es definido como:

$$\tau(r) = s_{\text{round}(n \times r)} \quad (3.8)$$

donde $\text{round}(\cdot)$ es la operación de redondeo, $n + 1$ es la cardinalidad de S^* .

Una vez unificada la información, se opera sobre ella con operadores lógicos definidos sobre el álgebra de implicaciones reticulares para resolver el problema de toma de decisiones. Para profundizar más sobre dicho proceso véase [88].

Después de revisar este modelo, podemos concluir que éste no permite trabajar con múltiples conjuntos de términos lingüísticos que tengan distinto número de etiquetas lingüísticas. Tal y como hemos comentado anteriormente, nuestros objetivos contemplan la utilización de un modelo que permita a los diferentes colectivos expresar sus valoraciones lingüísticas en conjuntos de términos lingüísticos adaptados a sus conocimientos y formación. Por tanto, dicho modelo no es adecuado para nuestro propósito, ya que se limita a la utilización de un único dominio de expresión lingüístico.

3.2.2.3. Modelo basado en unificación de la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla

Este modelo fue propuesto por F. Herrera, L. Martínez y P. J. Sánchez en [72] para operar con información heterogénea, unificando dicha información en valoraciones lingüísticas 2-tupla expresadas en un conjunto básico de términos lingüístico \bar{S} .

Una vez unificada la información heterogénea en información lingüística 2-tupla, se aplica el modelo computacional lingüístico 2-tupla [69], el cual es preciso y permite obtener resultados intermedios y finales interpretables.

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

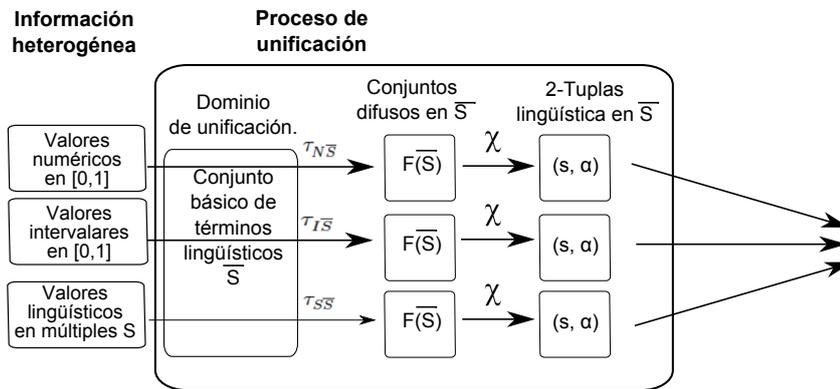


Figura 3.5: Modelo de unificación de información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla

Después de la breve revisión realizada, podemos señalar que el modelo basado en unificación de la información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla se ajusta a los objetivos que perseguimos en nuestra propuesta para la evaluación del desempeño 360-grados, ya que proporciona flexibilidad a los evaluadores para expresar sus valoraciones en diferentes dominios de expresión, permitiendo la utilización de múltiples escalas lingüísticas, y, además, la obtención de resultados intermedios y finales lingüísticos.

Dado que el modelo basado en unificación de la información heterogénea en información lingüística 2-tupla es el modelo que más se adecúa a nuestro propósito y que, por tanto, utilizaremos. A continuación se realiza una revisión en mayor profundidad de este modelo con ejemplos que ilustran su funcionamiento.

3.2.2.4. Revisión detallada del modelo basado en unificación de la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla

El modelo propuesto por F. Herrera, L. Martínez y P. J. Sánchez [72] sigue el esquema presentado en la Figura 3.5 para unificar la información heterogénea en información lingüística 2-tupla.

Antes de unificar la información heterogénea en valoraciones lingüísticas, es necesario definir el Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL) en donde será unificada la información heterogénea y sobre el que se realizarán los procesos computacionales, obteniéndose los resultados en dicho dominio lingüístico.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

El CBTL se denota como $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$ y se selecciona de acuerdo a los dominios de expresión lingüísticos que hayan sido utilizados en el contexto heterogéneo. Para la correcta elección del CBTL, se propuso el Algoritmo 1 [65] donde $F\{S_i^g; i = 1, \dots, n\}$ simboliza el conjunto de conjuntos términos lingüísticos utilizado y $\mathcal{P}(\tilde{S})$ simboliza que el conjunto de términos lingüísticos S son partición difusa [113].

Así, para seleccionar el CBTL se selecciona el conjunto de términos lingüísticos con máxima granularidad utilizado en el contexto heterogéneo. Si dicho conjunto tiene una granularidad impar y es partición difusa, es seleccionado como CBTL. En caso negativo, se genera un conjunto de términos lingüísticos con una granularidad superior impar que sea partición difusa.

Algorithm 1 Algoritmo de selección del CBTL

Require: $F\{S_i^g; i = 1, \dots, n\}$

Ensure: \bar{S}

```
1:  $gmax = maxGranularidad(F)$ ;  
2:  $Smax = devolverConjuntoMaxGranularidad(F)$   
3: if ( $\mathcal{P}(\tilde{S}max)$  and  $((gmax \text{ MOD } 2) = 1)$ ) then  
4:   return  $Smax$   
5: else if  $(gmax \text{ MOD } 2) = 0$ ) then  
6:    $Smax = generarConjuntoParticionDifusa(gmax + 1)$   
7:   return  $Smax$   
8: else  
9:    $Smax = generarConjuntoParticionDifusa(gmax + 2)$ ;  
10:  return  $Smax$   
11: end if
```

Seleccionando un CBTL con una granularidad adecuada, se consigue mantener la máxima información en la transformación de la información heterogénea en valoraciones lingüísticas en el CBTL.

Una vez seleccionado el CBTL, se realiza el proceso de unificación de la información heterogénea que consiste, en primer lugar, en unificar la información heterogénea en conjuntos difusos en el CBTL a través de funciones de transformación específicas para cada dominio de expresión y, en segundo lugar, en transformar los conjuntos difusos expresados en el CBTL en valoraciones

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

lingüísticas 2-tupla en el CBTL.

A continuación, se indican las funciones de transformación junto a una serie de ejemplos que ilustran tales transformaciones, donde se ha escogido el siguiente CBTL con 7 términos lingüísticos para unificar la información (ver Figura 3.6).

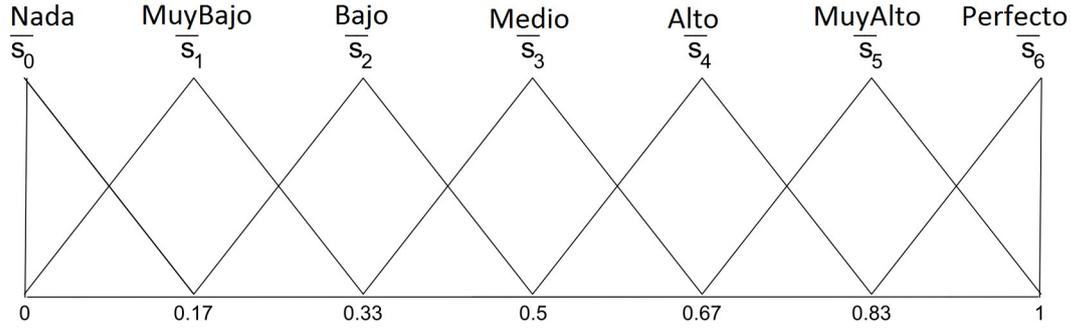


Figura 3.6: Conjunto básico de términos lingüísticos

La semántica de cada término lingüístico viene representada por una función de pertenencia triangular, siendo la sintaxis y la semántica de cada término lingüístico del CBTL la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \bar{s}_0 = Nada &= (0, 0, .17) & \bar{s}_1 = MuyBajo &= (0, .17, .33) \\
 \bar{s}_2 = Bajo &= (.17, .33, .5) & \bar{s}_3 = Medio &= (.33, .5, .67) \\
 \bar{s}_4 = Alto &= (.5, .67, .83) & \bar{s}_5 = MuyAlto &= (.67, .83, 1) \\
 \bar{s}_6 = Perfecto &= (.83, 1, 1)
 \end{aligned}$$

Funciones de transformación de información heterogénea a conjuntos difusos en el CBTL

A continuación, se indican las funciones de transformación de valoraciones numéricas, intervalares y lingüísticas a conjuntos difusos en \bar{S} , $\mathcal{F}(\bar{S})$ [72].

■ Dominio numérico.

Definición 9 [72] Dado un $r \in [0, 1]$, la función de transformación numérica, $\tau_{N\bar{S}} : [0, 1] \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$, es definida por:

$$\tau_{N\bar{S}}(r) = \sum_{i=0}^g (\bar{s}_i / \gamma_i) \tag{3.9}$$

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

con

$$\gamma_i = \mu_{\bar{s}_i}(r) = \begin{cases} 0 & \text{si } r \notin \text{soporte}(\mu_{\bar{s}_i}(x)), \\ \frac{r-a_i}{b_i-a_i} & \text{si } a_i \leq r \leq b_i, \\ \frac{c_i-r}{c_i-b_i} & \text{si } b_i \leq r \leq c_i. \end{cases} \quad (3.10)$$

donde $\gamma_i = \mu_{\bar{s}_i}(r) \in [0, 1]$ es el grado de pertenencia de r a $\bar{s}_i \in \bar{S}$.

Ejemplo 1 Dado $r = 0.32$ y \bar{S} el conjunto básico de términos lingüísticos mostrado en la Figura 3.6, entonces,

$$\tau_{N\bar{S}}(0.32) = \{(\bar{s}_0, 0), (\bar{s}_1, 0.08), (\bar{s}_2, 0.92), (\bar{s}_3, 0), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}$$

es el conjunto de conjuntos difusos en el CBTL obtenido por $\tau_{N\bar{S}}$ (Ver Figura 3.7).

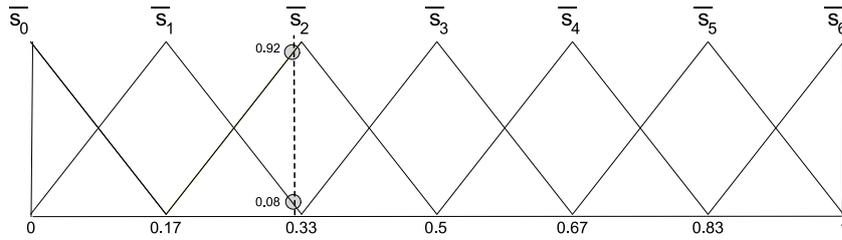


Figura 3.7: Transformación de un valor numérico, 0.32, a $\mathcal{F}(\bar{S})$

■ Dominio intervalar.

Definición 10 [72] Dado un $u = [d, e] \in P([0, 1])$, entonces la función de transformación intervalar, $\tau_{I\bar{S}} : P([0, 1]) \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$, es definida por:

$$\tau_{I\bar{S}}(u) = \sum_{i=0}^g (\bar{s}_i / \gamma_i) \quad (3.11)$$

donde $\gamma_i = \max_y \min\{\mu_I(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}$, $i = 0, \dots, g$, y

$$\mu_I(y) = \begin{cases} 0 & \text{si } y < d, \\ 1 & \text{si } d \leq y \leq e, \\ 0 & \text{si } y > e. \end{cases} \quad (3.12)$$

con $y \in [0, 1]$.

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

Ejemplo 2 Dado $I = [0.32, 0.78]$ y \bar{S} el conjunto CBTL mostrado en la Figura 3.6, entonces,

$\tau_{I\bar{S}}([0.32, 0.78]) = \{(\bar{s}_0, 0), (\bar{s}_1, 0.08), (\bar{s}_2, 1), (\bar{s}_3, 1), (\bar{s}_4, 1), (\bar{s}_5, 0.68), (\bar{s}_6, 0)\}$ es el conjunto de conjuntos difusos en el CBTL para $I = [0.32, 0.78]$ (Ver Figura 3.8).

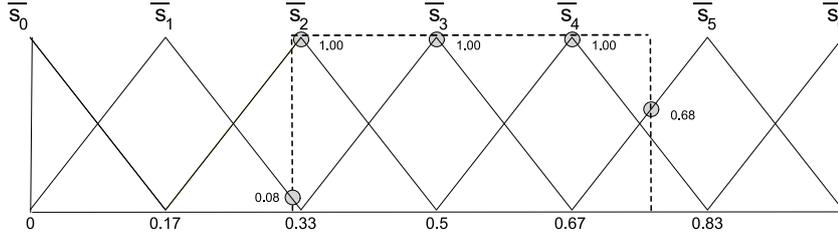


Figura 3.8: Transformación de un valor intervalar $[0.32, 0.78]$, a $\mathcal{F}(\bar{S})$

■ Dominio Lingüístico.

Definición 11 [72] Dado $u \in S$, de tal forma que $S = \{s_j, j = 1, \dots, h\}$ y $h \leq g$, la función de transformación lingüística, $\tau_{S\bar{S}} : S \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$, es definida por:

$$\tau_{S\bar{S}}(u) = \sum_{i=0}^g (\bar{s}_i / \gamma_i) \quad (3.13)$$

donde $\gamma_i = \max_y \min\{\mu_{s_j}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}$, $i = \{0, \dots, g\}$ y $\mu_{s_j}(y)$ y $\mu_{\bar{s}_i}(y)$ identifican a las funciones de pertenencia asociadas a las etiquetas s_j y \bar{s}_i , respectivamente.

Ejemplo 3 Dado $S_i = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ el cual es un conjunto de términos lingüísticos y $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_6\}$ el conjunto CBTL mostrado en la Figura 3.6, entonces,

$$T_{S\bar{S}}(s_1) = \{(\bar{s}_0, 0.39), (\bar{s}_1, 0.85), (\bar{s}_2, 0.85), (\bar{s}_3, 0.39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}$$

es el conjunto de conjuntos difusos en el CBTL obtenido para s_1 en \bar{S} , el cual es ilustrado en la Figura 3.9.

3.2. Modelos para el tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

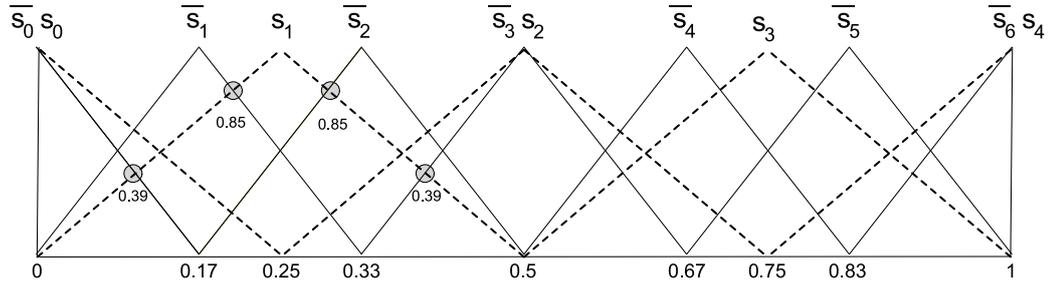


Figura 3.9: Transformación de un término lingüístico, s_1 , a $\mathcal{F}(\bar{S})$

Transformación de conjuntos difusos $\mathcal{F}(\bar{S})$, a valoraciones lingüísticas 2-tupla en \bar{S}

La información heterogénea ha sido unificada en conjuntos difusos en \bar{S} . Sin embargo, este tipo de información no facilita la interpretación de los resultados ni los procesos computacionales de los mismos, por lo que este modelo propone realizar una transformación a valoraciones lingüísticas 2-tupla para facilitar los procesos de computación y la obtención de resultados interpretables.

A continuación, se proporciona una serie de definiciones relativas al modelo de representación y el modelo computacional lingüístico 2-tupla [69] que son utilizadas en el modelo para manejar información heterogénea. Para profundizar más sobre el modelo lingüístico 2-tupla en la Sección A.3 del Apéndice A se ha incluido material adicional.

Definición 12 [69]. 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 $[-0.5, 0.5)$ 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 .

Definición 13 [69]. Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5)$ y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica entonces el valor lingüístico 2-tupla que expresa la información equivalente a β se obtiene a través de la siguiente función:

$$\Delta_S : [0, g] \rightarrow \langle S \rangle$$

3. Tratamiento de información heterogénea en problemas de toma de decisiones

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha_i), \text{ con } \begin{cases} i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \end{cases} \quad \alpha \in [-0.5, 0.5), \quad (3.14)$$

donde $\text{round}(\cdot)$ es el operador usual de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

La transformación de los conjuntos difusos $\mathcal{F}(\bar{S})$, a valoraciones lingüísticas 2-tupla en \bar{S} se realiza mediante la función χ , la cual es definida como sigue:

Definición 14 [72]. Sea $\tilde{A} = \{(s_0, \gamma_0), \dots, (s_g, \gamma_g)\}$ un conjunto de conjuntos difusos definidos en el conjunto de términos lingüísticos $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$, la función $\chi : \mathcal{F}(S) \rightarrow \langle S \rangle$ es definida por:

$$\chi((s_0, \gamma_0), (s_1, \gamma_1), \dots, (s_g, \gamma_g)) = \Delta_S \left(\frac{\sum_{j=0}^g j \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} \right) = (s_i, \alpha) \in \langle S \rangle. \quad (3.15)$$

Ejemplo 4 Consideramos los conjuntos difusos en el *CBTL* mostrados en la Figura 3.6 obtenidos en el Ejemplo 1, su valor numérico en el intervalo de granularidad de \bar{S} , $[0, 6]$, es $\beta = 1.92$, siendo el valor lingüístico 2-tupla asociado $(\bar{s}_2, -0.08) \in \bar{S}$, el cual es obtenido como sigue:

$$\begin{aligned} \chi(\{(\bar{s}_0, 0), (\bar{s}_1, 0.08), (\bar{s}_2, 0.92), (\bar{s}_3, 0), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}) &= \\ &= \Delta_{\bar{S}} \left(\frac{1 \cdot 0.08 + 2 \cdot 0.92 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 5 \cdot 0 + 6 \cdot 0}{0 + 0.08 + 0.92 + 0 + 0 + 0 + 0} \right) = \\ &= \Delta_{\bar{S}}(1.92) = (\bar{s}_2, -0.08). \end{aligned}$$

Una vez realizada la unificación de la información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla, es posible operar sobre dichas valoraciones a través del modelo computacional lingüístico 2-tupla, obteniendo resultados precisos y lingüísticos, los cuales son fácilmente interpretables.

Capítulo 4

Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Este Capítulo presenta las principales propuestas en el ámbito teórico planteadas como objetivos en esta memoria de investigación. En él vamos a proponer un nuevo modelo para la evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia de los criterios evaluados. Dicha propuesta pretende mejorar las deficiencias encontradas en los procesos de evaluación del desempeño actuales respecto a los dominios de expresión que pueden utilizar los colectivos evaluadores para evaluar a los empleados y la consideración de dependencia entre los criterios evaluados.

4.1. Introducción

A lo largo de esta memoria de investigación hemos visto que la evaluación del desempeño es una herramienta clave en los departamentos de Recursos Humanos para evaluar el rendimiento de los trabajadores con el fin de obtener información relevante para la toma de decisiones a la hora de realizar promociones, ajustes, despidos o sanciones en la empresa. Para realizar dicho proceso, tradicionalmente

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

se utilizan distintas metodologías y modelos [6, 37, 39, 46, 57], que presentaban una serie de limitaciones expuestas en el Capítulo 2.

Las carencias que pretende superar el modelo presentado en este Capítulo son las siguientes:

- Los procesos de evaluación del desempeño están definidos en un marco de evaluación poco flexible, que solo cuenta con un dominio de expresión, perdiendo así generalidad a la hora de expresarse los evaluadores. Dicho hecho es consecuencia de los múltiples grados de conocimiento que pueden tener los diferentes colectivos evaluadores, los cuales pueden requerir expresarse en un dominio distinto al propuesto, ya que pueden sentirse más cómodos en él.
- Hasta ahora los procesos de evaluación del desempeño parten de la hipótesis de que el conjunto de criterios evaluados son siempre independientes. Sin embargo, es habitual que exista interrelación entre algunos de los criterios que son valorados en el proceso de evaluación.
- Los resultados finales e intermedios presentados por los modelos actuales son difíciles de interpretar de manera correcta por parte de los departamentos de Recursos Humanos.

Con el fin de mejorar y obtener un proceso de evaluación del desempeño 360-grados eficaz y eficiente, el cual permita mejorar la toma de decisiones en los departamentos de Recursos Humanos de las empresas y superar los inconvenientes señalados, se propone un modelo de evaluación del desempeño 360-grados que tiene en cuenta las siguientes demandas:

- Un marco de evaluación flexible donde los evaluadores puedan proporcionar sus juicios en diferentes dominios de expresión tales como el numérico, el intervalar y el lingüístico, según la incertidumbre, la naturaleza de los criterios y el conocimiento de cada colectivo evaluador [72, 87, 91].
- Permitir el tratamiento de los criterios evaluados como independientes o dependientes según el proceso de evaluación llevado a cabo a través de operadores de agregación que permitan considerar la dependencia o independencia de sus argumentos.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

- Obtención de resultados, tanto globales como intermedios, expresados mediante términos lingüísticos, facilitando su comprensión por parte de los diferentes miembros del departamento de Recursos Humanos.

El modelo propuesto en esta memoria de investigación, el cual está basado en el esquema del análisis de decisión [35], se define en un contexto de información heterogénea. Para el manejo de dicha información, se propone el uso del modelo de unificación de la información heterogénea en información lingüística 2-tupla revisado en la Sección 3.2.2.4, ya que cubre las necesidades demandadas por nuestro modelo de evaluación del desempeño 360-gradados.

Para la consideración de la posible dependencia de los criterios evaluados en el proceso de evaluación del desempeño integral, se propone el uso de la Integral de Choquet discreta para información lingüística 2-tupla [133], para operar con la información unificada. La Integral de Choquet es utilizada en nuestro modelo debido a que permite capturar la interacción entre los criterios a través de las medidas difusas que son empleadas en la integral. Dicha integral ha sido aplicada con éxito en diferentes problemas de evaluación con criterios dependientes [25, 121].

A continuación se presenta el modelo propuesto en esta memoria de investigación.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

En esta Sección presentaremos un nuevo modelo de evaluación del desempeño 360-gradados que se compone de las fases mostradas en la Figura 4.1, las cuales cubren las actividades esenciales del análisis de decisión [35] realizadas en un proceso de evaluación del desempeño integral indicadas en la Sección 2.4.3.

Debido a que nuestro modelo trata con información heterogénea, utilizaremos para manejar dicha información el modelo de unificación de información heterogénea en información lingüística 2-tupla propuesto por F. Herrera, L. Martínez y P. J. Sánchez [72], por la flexibilidad al modelar las valoraciones y

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios



Figura 4.1: Proceso de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia de criterios

ofrecer resultados interpretables. Por ello, el modelo propuesto incluye una fase de unificación de la información en la etapa de valoración global (ver Figura 4.1) para unificar la información heterogénea proporcionada por los evaluadores al dominio lingüístico 2-tupla, en el cual se obtendrán los resultados intermedios y finales.

Para la consideración de la posible dependencia de los criterios en el modelo presentado, la fase de valoración global del empleado contempla dos casos. El primer caso es que todos los criterios evaluados sean independientes, siendo el segundo caso aquel en el que algunos de los criterios involucrados presenten dependencia entre ellos.

Las fases que componen el modelo presentado en este Capítulo y que son ilustradas en la Figura 4.1 son descritas en las siguientes Secciones. Como se comentó inicialmente, a la vez que se presenta el modelo se irá presentado un caso de estudio de evaluación del desempeño integral en forma de ejemplo en cada fase.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

4.2.1. Definición del marco de evaluación

El marco de evaluación establece la estructura del proceso de evaluación del desempeño 360-grados. En él es necesario definir las principales características y terminología del mismo. Hemos de tener en cuenta que en esta propuesta los empleados son evaluados mediante distintos criterios valorados en múltiples dominios de expresión y por diferentes colectivos que aportan diversos puntos de vista.

Por tanto, siguiendo el marco general revisado en la Sección 2.4.3, en nuestra propuesta habrá un conjunto de empleados $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, el cual será evaluado por tres colectivos distintos: un conjunto de supervisores $A = \{a_1, \dots, a_r\}$, un conjunto compañeros $B = \{b_1, \dots, b_s\}$ y un conjunto de clientes $C = \{c_1, \dots, c_t\}$. Los empleados serán evaluados atendiendo a un conjunto de criterios $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$.

Las valoraciones proporcionadas por los miembros de los distintos colectivos $a_i \in A$, $b_i \in B$ and $c_i \in C$ sobre los empleados x_j , de acuerdo a un criterio Y_k , serán denotadas con a_j^{ik} , b_j^{ik} y c_j^{ik} , respectivamente. Además, x_j^{jk} es la evaluación x_j sobre sí mismo con respecto al criterio Y_k .

Cada colectivo de evaluadores puede utilizar diferentes dominios de expresión para cada criterio Y^k , $k = 1, \dots, p$, dependiendo de la naturaleza del criterio y del conocimiento o formación del colectivo evaluador acerca del empleado a evaluar, por lo que nuestro modelo contempla un marco de evaluación con información heterogénea. Dicha información puede ser expresada mediante valores numéricos, intervalares o lingüísticos pertenecientes a conjuntos de términos lingüísticos con diferente granularidad, en función del grado de conocimiento del colectivo evaluador.

A continuación, se describe un ejemplo de un marco de evaluación en un proceso de evaluación del desempeño integral con información heterogénea.

Ejemplo 5 Supongamos que se quiere realizar una evaluación del desempeño integral de dos empleados para su promoción a supervisor en una compañía de ventas de teléfonos. Ambos formarán el conjunto de empleados a evaluar $X = \{x_1, x_2\}$.

En primer lugar se definen los colectivos de evaluadores implicados, los cuales son: supervisores, compañeros y clientes.

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

- Conjunto de supervisores A , formado por $A = \{a_1\}$
- Conjunto de compañeros B , formado por $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6\}$
- Conjunto de clientes C , formado por $C = \{c_1, c_2, c_3\}$

Una vez definidos los colectivos participantes, se establece por el departamento de Recursos Humanos el conjunto de criterios a evaluar, siendo considerados 5 criterios $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}$. El conjunto de criterios alberga tanto criterios que son de naturaleza cuantitativa, los cuales serán valorados en un dominio numérico, como de naturaleza cualitativa, los cuales serán valorados en un dominio lingüístico. A continuación, se describe cada criterio:

- Y_1 : Nivel de devoluciones. Este criterio expresa la cantidad de devoluciones que ha sufrido el empleado. Evaluado por el colectivo A .
- Y_2 : Desajuste en caja. Este criterio expresa el importe que no ha cuadrado en caja al concluir el mes laboral. Evaluado por el colectivo A .
- Y_3 : Servicio al cliente. Este criterio mide la atención a clientes en cartera de la empresa en el servicio preventa y posventa. Evaluado por el colectivo C .
- Y_4 : Responsabilidad. Este criterio mide los logros en el trabajo diario y la asunción de las consecuencias de sus actos. Evaluado por el colectivo B .
- Y_5 : Interés en formarse. Este criterio mide la actitud positiva para aprender y mejorar en su puesto de trabajo. Evaluado por el colectivo B .

Como es natural, no es obligatorio que todos los colectivos evalúen todos los criterios, ya que algún colectivo puede no tener la suficiente información para evaluar un criterio.

Como se ha justificado a lo largo de la memoria, en función del grado de conocimiento de cada colectivo evaluador, cada criterio será valorado en el dominio de expresión que se considere más adecuado por colectivo, originándose un marco de evaluación con información heterogénea.

Sobre los dominios de expresión utilizados para expresar las valoraciones, los criterios Y_1 e Y_2 serán valorados en un dominio numérico y los criterios Y_3, Y_4, Y_5 serán valorados en tres dominios lingüísticos con diferente granularidad

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

$\{S^5, S^7, S^9\}$, dependiendo del grado de conocimiento del colectivo evaluador sobre el criterio a evaluar.

Cada conjunto de términos lingüísticos se distribuye de forma simétrica y uniformemente distribuida, siendo la sintaxis de cada conjunto de términos lingüístico la siguiente:

$$S^5 = \{Nada (NA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), Perfecto (PE)\}$$

$$S^7 = \{Nada (NA), MuyBajo (MBA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), MuyAlto (MAT), Perfecto (PE)\}$$

$$S^9 = \{Nada (NA), CasiNada (CNA), MuyBajo (MBA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), LigeramenteAlto (LAT), MuyAlto (MAT), Perfecto (PE)\}$$

4.2.2. Recolección de la información

Después de ser definido el marco de evaluación, la siguiente fase del proceso de evaluación del desempeño 360-grados es recoger las evaluaciones que los colectivos evaluadores proporcionan.

Las evaluaciones estarán expresadas en un dominio de expresión determinado, ya sea numérico, intervalar o lingüístico para cada criterio de evaluación Y_k , $k = \{1, \dots, p\}$. Las opiniones o valoraciones de cada colectivo para cada empleado x_j , $j = \{1, \dots, n\}$ son proporcionadas mediante vectores de valoraciones¹: $\{\hat{a}_j^{i1}, \dots, \hat{a}_j^{ip}\}$ con $i \in \{1, \dots, r\}$ para los supervisores, $\{\hat{b}_j^{i1}, \dots, \hat{b}_j^{ip}\}$ con $i \in \{1, \dots, s\}$ para los compañeros, $\{\hat{c}_j^{i1}, \dots, \hat{c}_j^{ip}\}$ con $i \in \{1, \dots, t\}$ para los clientes, y finalmente, $\{\hat{x}_j^{j1}, \dots, \hat{x}_j^{jp}\}$ para el empleado evaluado.

Ejemplo 6 En la Tabla 4.1 se muestra la información recolectada sobre la evaluación de los empleados x_1 y x_2 por parte de los distintos colectivos seleccionados de evaluadores para cada criterio de los planteados en el marco de evaluación.

¹Denotamos $\hat{\cdot}$ como la evaluación en un dominio de expresión (numérico, intervalar o lingüístico), de acuerdo con la naturaleza de los criterios y el conocimiento sobre el mismo del evaluador

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Tabla 4.1: Recogida de información del conjunto de colectivos

Criterio	Dominio de Expresión	Evalrador	Valoración para x_1	Valoración para x_2
Y_1	Numérico expresado en unidades	a_1	125	105
Y_2	Numérico expresado en euros	a_1	28	20
Y_3	Lingüístico expresado en S^5	a_1	<i>Medio</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_1	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_2	<i>Peffecto</i>	<i>Medio</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_3	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_4	<i>Bajo</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_5	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_6	<i>Medio</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^9	c_1	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^9	c_2	<i>Alto</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^9	c_3	<i>Peffecto</i>	<i>MuyAlto</i>
Y_4	Lingüístico expresado en S^5	a_1	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_1	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_2	<i>Peffecto</i>	<i>Medio</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_3	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_4	<i>Bajo</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_5	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_6	<i>MuyBajo</i>	<i>MuyAlto</i>
Y_5	Lingüístico expresado en S^7	a_1	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_1	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_2	<i>Peffecto</i>	<i>Bajo</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_3	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_4	<i>Bajo</i>	<i>Peffecto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_5	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
	Lingüístico expresado en S^7	b_6	<i>Bajo</i>	<i>MuyAlto</i>

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

4.2.3. Valoración global

El objetivo del proceso de evaluación del desempeño 360-grados es obtener valoraciones intermedias y globales de cada empleado. Dicha valoración se calcula en esta última fase que comprende varios pasos. El modelo presentado en esta memoria de investigación está enfocado a que dichas valoraciones estén expresadas de forma lingüística para que sean fáciles de entender y de interpretar por los miembros de la empresa.

Para obtener la valoración global de cada empleado es necesario tratar la información heterogénea recogida en la fase anterior, por lo que se ha de seleccionar un modelo de tratamiento de información heterogénea adecuado a nuestras necesidades. Después de la revisión de diferentes modelos de tratamiento de información heterogénea, la cual ha sido realizada en el Capítulo 3 de esta memoria, hemos decidido utilizar el modelo de unificación de información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla [72], ya que proporciona un marco heterogéneo flexible y ofrece resultados en un dominio de expresión lingüístico que facilita la interpretación de los mismos.

Siguiendo el modelo de tratamiento de información heterogénea escogido, en la fase de valoración global es necesario seleccionar un dominio lingüístico donde se representarán los resultados y unificará la información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla en dicho dominio.

Una vez unificada la información heterogénea, es necesario operar sobre ella para obtener valoraciones intermedias y globales de los empleados evaluados en el proceso de evaluación del desempeño integral. En el modelo que presentamos seguiremos un proceso multi-etapa para obtener dichas valoraciones, las cuales están indicadas al inicio del Capítulo en la Figura 4.1. En tal proceso se podrán integrar parámetros que representen la relevancia de los distintos colectivos y criterios, así como la interacción entre los diferentes criterios evaluados si existiese. Como se ha comentado, los diferentes resultados obtenidos estarán expresados en un dominio lingüístico.

Las siguientes Subsecciones presentan en detalle las distintas etapas que componen la fase de valoración global descritas gráficamente en la Figura 4.1.

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

4.2.3.1. Unificación de la información heterogénea

Antes de comenzar el proceso de unificación, en primer lugar debemos de fijar el Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL), en el cual se unificará la información y donde serán expresados los resultados intermedios y finales. Para realizar la elección de dicho conjunto, utilizaremos el Algoritmo 1 para la elección de un CBTL presentando en la Sección 3.2.2.4.

Una vez fijado el CBTL, podremos aplicar las funciones de transformación específicas para transformar las valoraciones heterogéneas a conjuntos difusos en el CBTL. Para ello, utilizaremos la Ec. (3.9) para valoraciones numéricas, la Ec. (3.11) para valoraciones intervalares y, finalmente, la Ec. (3.13) para valoraciones lingüísticas. A continuación, los conjuntos difusos en el CBTL serán transformados a valores lingüísticos 2-tupla en el CBTL a través de la Ec. (3.14) y Ec. (3.15).

Finalmente, cabe recordar que las funciones de transformación específicas de valores numéricos y valores intervalares a conjuntos difusos (Ec. (3.9) y (3.11)), toman valores expresados en el intervalo unidad, por lo que deberán ser normalizados los valores a dicho intervalo.

A continuación, se describe un ejemplo del proceso de unificación de la información heterogénea, siguiendo el caso de estudio que estamos desarrollando a lo largo del Capítulo.

Ejemplo 7 Retomando el ejemplo que venimos desarrollando durante el Capítulo, nos disponemos a unificar la información recopilada utilizando las funciones de transformación indicadas previamente.

En primer lugar, debemos seleccionar el CBTL utilizando el Algoritmo 1 descrito en la Sección 3.2.2.4. Al existir un único conjunto de términos lingüísticos con máxima granularidad (9 términos) en el contexto heterogéneo y siendo dicho conjunto partición difusa, éste es seleccionado como CBTL. Por tanto, el CBTL donde será unificada la información y donde los resultados serán obtenidos es ilustrado en la Figura 4.2.

Una vez fijado el CBTL, la información heterogénea es unificada en conjuntos difusos en el CBTL utilizando las funciones específicas anteriormente indicadas. A continuación, es mostrado un ejemplo donde una valoración numérica es transformada a una valoración lingüística 2-tupla en el CBTL.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

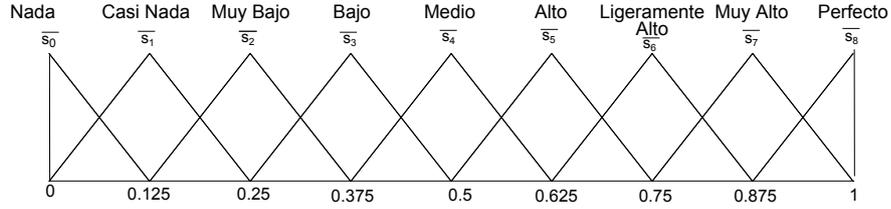


Figura 4.2: Conjunto básico de términos lingüísticos \bar{S}

En este ejemplo tomaremos el valor numérico dado por el evaluador a_1 sobre el criterio Y_1 para el evaluado x_1 . Dicho valor, en primer lugar, debe ser normalizado a un valor dentro del intervalo $[0,1]$ para poder aplicar la función de transformación a conjuntos difusos en el CBTL (Ec. (3.9)). Para realizar la normalización, se aplica la función, $NN : [min, max] \rightarrow [0, 1]$ descrita en [81], la cual permite transformar un valor numérico n en el rango $[min, max]$ en un valor en el intervalo unidad como sigue:

$$NN(n) = \frac{n - min}{max - min} \in [0, 1]. \quad (4.1)$$

En este caso, el valor proporcionado por a_1 es 125 para el criterio Y_1 , siendo el rango utilizado para valorar ese criterio el intervalo $[104, 133]$, por lo que el valor normalizado es calculado como sigue:

$$NN(125) = \frac{(125-104)}{(133-104)} = 0.72$$

Al ser el criterio Y_1 un criterio de coste, debemos de realizar su complemento, por lo que el valor obtenido es 0.28.

Una vez que tenemos el valor normalizado en el intervalo unidad, a continuación nos disponemos a realizar su transformación a un valor lingüístico 2-tupla en el conjunto CBTL, \bar{S} , utilizando para ello las funciones de transformación de valores numéricos a conjuntos difusos $\tau_{N\bar{S}} : [0, 1] \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$ (Ec. (3.9)) así como la función de transformación de conjuntos difusos a valores lingüísticos 2-tupla $\chi : \mathcal{F}(\bar{S}) \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$ (Ec. (3.15)), las cuales fueron descritas en la Sección 3.2.2.4.

Así, el valor 0.28 expresado en el CBTL, \bar{S} , es mostrado en la Figura 4.3 donde 0.28 es \bar{s}_2 con un grado de pertenencia de 0.76 y es \bar{s}_3 con grado de pertenencia 0.24, no perteneciendo a las siguientes etiquetas: $\bar{s}_0, \bar{s}_1, \bar{s}_4, \bar{s}_5, \bar{s}_6, \bar{s}_7, \bar{s}_8$.

$$T_{N\bar{S}}(0.28) = \{(\bar{s}_0, 0), (\bar{s}_1, 0), (\bar{s}_2, 0.76), (\bar{s}_3, 0.24), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0), (\bar{s}_7, 0), (\bar{s}_8, 0)\}$$

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

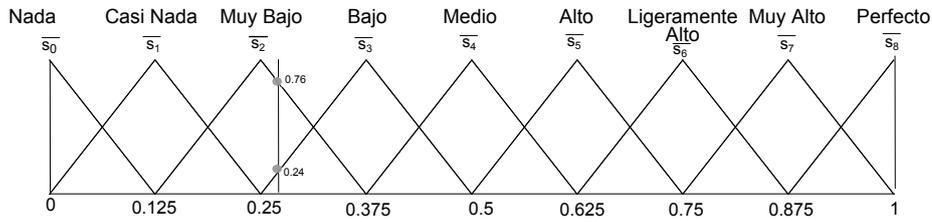


Figura 4.3: Transformando un valor numérico, 0.28, a $\mathcal{F}(\bar{S})$

Aplicando la función de transformación de conjuntos difusos en el CBTL a valores lingüísticos 2-tupla (Ec.(3.14) y Ec. (3.15)), el valor lingüístico 2-tupla asociado es obtenido como sigue:

$$\chi\left(T_{N\bar{S}}(0.28)\right) = \Delta_{\bar{S}}\left(\frac{(0.76 \times 2 + 0.24 \times 3)}{(0.76 + 0.24)}\right) = \Delta_{\bar{S}}(2, 24) = (\bar{s}_2, 0.24) \quad (4.2)$$

Por tanto, la valoración inicial 0,72 es unificada a la valoración lingüística $(\bar{s}_2, 0.24)$ en el CBTL, la cual corresponde a $(MBA, .24)$ o lo que es lo mismo, *MuyBajo* con una traslación simbólica de 0.24.

A continuación en la Tabla 4.2 es mostrada la información recogida en el proceso de evaluación del desempeño unificada en valoraciones lingüística 2-tupla en el CBTL \bar{S} .

Tabla 4.2: Valoraciones de los evaluadores unificadas en el conjunto CBTL \bar{S} de 9 términos.

Criterio	Evaluadores	Valoración para x_1	Valoración para x_2
Y_1	a_1	$(MBA, .24)$	$(PE, -.24)$
Y_2	a_1	$(BA, .04)$	$(MAT, .04)$
Y_3	a_1	$(ME, .0)$	$(MAT, .33)$
	b_1	$(ME, .03)$	$(AT, .39)$
	b_2	$(PE, -.48)$	$(ME, .03)$
	b_3	$(BA, -.35)$	$(AT, .39)$
	b_4	$(BA, -.35)$	$(PE, -.48)$
	b_5	$(ME, .03)$	$(AT, .39)$
	b_6	$(ME, .03)$	$(PE, -.48)$
Continúa en la siguiente página			

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Tabla 4.2 – Viene de la página anterior

Criterio	Evaluadores	Valoración para x_1	Valoración para x_2
	c_1	(<i>ME</i> , .0)	(<i>MAT</i> , .0)
	c_2	(<i>AT</i> , .0)	(<i>PE</i> , .0)
	c_3	(<i>PE</i> , .0)	(<i>MAT</i> , .0)
Y_4	a_1	(<i>ME</i> , .0)	(<i>LAT</i> , .0)
	b_1	(<i>ME</i> , .03)	(<i>MAT</i> , -.35)
	b_2	(<i>PE</i> , -.48)	(<i>ME</i> , .03)
	b_3	(<i>BA</i> , -.35)	(<i>ME</i> , .03)
	b_4	(<i>BA</i> , -.35)	(<i>PE</i> , -.48)
	b_5	(<i>ME</i> , .03)	(<i>MAT</i> , -.35)
	b_6	(<i>CN</i> , .4)	(<i>MAT</i> , -.35)
Y_5	a_1	(<i>ME</i> , .03)	(<i>MAT</i> , -.35)
	b_1	(<i>ME</i> , .03)	(<i>MAT</i> , -.35)
	b_2	(<i>PE</i> , -.48)	(<i>BA</i> , -.35)
	b_3	(<i>ME</i> , .03)	(<i>ME</i> , .03)
	b_4	(<i>BA</i> , -.35)	(<i>PE</i> , -.48)
	b_5	(<i>ME</i> , .03)	(<i>MAT</i> , -.35)
	b_6	(<i>BA</i> , -.35)	(<i>MAT</i> , -.35)

Una vez unificada la información en valoraciones lingüísticas 2-tupla, es posible obtener las valoraciones intermedias y globales para cada empleado en un proceso multi-etapa. A continuación, son descritas cada una de las etapas del proceso multi-etapa donde son calculadas dichas valoraciones.

4.2.3.2. Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio

En esta etapa, se obtiene para cada empleado evaluado una valoración por colectivo para cada criterio. Para obtener dicho valor, es necesario agregar la información a través de operadores de agregación que trabajen con valoraciones lingüística 2-tupla [69], ya que éste es el dominio donde se encuentra unificada la información.

Como se comentó previamente, en el Apéndice A de esta memoria de investigación, en concreto en la Sección A.3.2, se han revisado un conjunto de operadores de agregación para valoraciones lingüísticas 2-tupla, los cuales

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

pueden ser utilizados para agregar la información y obtener las valoraciones de los empleados.

En esta memoria de investigación para obtener las valoraciones globales de los empleados por colectivo para cada criterio, se propone el operador de agregación media ponderada ordenada *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla [69], G^w , que requiere de un vector de pesos \mathbf{w} . Éste es un operador de agregación anónimo que no distingue el origen de las evaluaciones, ya que cada peso no está asociado a un evaluador en particular, sino a la magnitud de su evaluación.

A continuación presentamos la definición formal del operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla:

Definición 15 [69] Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valoraciones lingüísticas 2-tupla y $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m), w_i \in [0, 1]$ un vector de pesos tal que $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. El operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla asociado con \mathbf{w} $G^w : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definido como:

$$G^w((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_i^* \right) = (s_l, \alpha_l) \in \langle S \rangle, \quad (4.3)$$

donde β_i^* es el i -ésimo mayor elemento $\{\Delta_S^{-1}(s_1, \alpha_1), \dots, \Delta_S^{-1}(s_m, \alpha_m)\}$.

El operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla necesita un vector de pesos, los cuales pueden ser determinados mediante diferentes métodos basados en la generación de funciones de pesos. Yager [129, 132] propuso el uso de funciones monótonas continuas como *regular increasing monotone* (RIM), las cuales facilitan expresar el concepto de mayoría difusa, mediante cuantificadores lingüísticos: *For All, Exists, Identity, Most, At Least Half, As Many As Possible*, etc. Estas funciones permiten generar pesos para cualquier número de argumentos. Por tanto, en cada procedimiento de agregación con el operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla, podemos usar diferentes cuantificadores lingüísticos para obtener los pesos.

La definición formal de cuantificador lingüístico difuso es proporcionada por Yager en [128].

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Definición 16 [128] *Un cuantificador lingüístico relativo es una función $Q : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ que viene definida por*

$$Q(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a < x < b, \\ 1, & \text{si } x \geq b, \end{cases} \quad (4.4)$$

donde $a, b \in [0, 1]$ y $a < b$.

Queremos destacar que $Q(0) = 0$ y $Q(1) = 1$, siendo Q monótona: $Q(x) \geq Q(y)$ siempre que $x \geq y$. Por tanto, los pesos asociados al operador OWA G^w son calculados de la siguiente manera:

$$w_i = Q\left(\frac{i}{m}\right) - Q\left(\frac{i-1}{m}\right), \quad i = 1, \dots, m, \quad (4.5)$$

donde Q es la función definida en la Ecuación 4.4.

Algunos ejemplos de cuantificadores lingüísticos relativos no decrecientes son: “Most” con $(a, b) = (0.3, 0.8)$, “At least half” con $(a, b) = (0, 0.5)$ y “As many as possible” con $(a, b) = (0.5, 1)$.

Bajo estas premisas, en nuestro modelo las valoraciones del colectivo de supervisores sobre el criterio k , sobre el empleado x_j , $v_A^k(x_j)$ son obtenidas por la función $G_{A,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^r \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$.

$$v_A^k(x_j) = G_{A,k}^w(a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}) \in \langle \bar{S} \rangle, \quad (4.6)$$

donde $a_j^{ik} \in \langle \bar{S} \rangle$ para $i = 1 \dots r$, son valoraciones lingüística 2-tupla pertenecientes al CBTL, \bar{S} . De la misma manera es posible obtener las evaluaciones colectivas por criterio Y_k para los otros colectivos de evaluadores: $v_B^k(x_j)$ para compañeros, $v_C^k(x_j)$, para clientes y $v_X^k(x_j)$, para la evaluación del propio empleado sobre sí mismo.

A continuación, se muestra la fase de cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio en el caso de estudio que estamos desarrollando en este Capítulo.

Ejemplo 8 Una vez unificada la información, nos disponemos a obtener las valoraciones globales por colectivo para cada criterio. Para ello usaremos

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

el operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla con el cuantificador lingüístico “*Most*” con $a = 0.3$ y $b = 0.8$ para obtener el vector de pesos para cada colectivo para cada criterio.

A continuación mostramos un ejemplo del cálculo de la valoración global por colectivo para el criterio, Y_3 , el colectivo B y el empleado evaluado, x_1 .

En primer lugar deberemos calcular el vector de pesos w , utilizando para ello el cuantificador lingüístico “*Most*” (0.3, 0.8), y las ecuaciones para el cálculo de pesos Ec. (4.4) y Ec. (4.5), siendo el procedimiento de cálculo el siguiente:

$$\begin{aligned} w_1 &= Q\left(\frac{1}{6}\right) - Q\left(\frac{0}{6}\right) = 0 - 0 = 0 \\ w_2 &= Q\left(\frac{2}{6}\right) - Q\left(\frac{1}{6}\right) = 0.066 - 0 = 0.066 \\ w_3 &= Q\left(\frac{3}{6}\right) - Q\left(\frac{2}{6}\right) = 0.4 - 0.066 = 0.333 \\ w_4 &= Q\left(\frac{4}{6}\right) - Q\left(\frac{3}{6}\right) = 0.733 - 0.4 = 0.333 \\ w_5 &= Q\left(\frac{5}{6}\right) - Q\left(\frac{4}{6}\right) = 1 - 0.733 = 0.266 \\ w_6 &= Q\left(\frac{6}{6}\right) - Q\left(\frac{5}{6}\right) = 1 - 1 = 0 \end{aligned}$$

Así, el vector de pesos obtenido es $w = (0, 0.07, 0.33, 0.33, 0.27, 0)$, el cual será utilizado con el operador *OWA* sobre el conjunto de valoraciones lingüísticas unificadas proporcionadas por el colectivo B que ordenadas de mayor a menor obedecen al siguiente orden:

$$(\bar{s}_8, -.48) > (\bar{s}_4, .03) > (\bar{s}_4, .03) > (\bar{s}_4, .03) > (\bar{s}_3, -.35) > (\bar{s}_3, -.35)$$

Aplicando el operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla (Ec. (4.3)) sobre las valoraciones para el criterio, Y_3 , del colectivo B , y el evaluado, x_1 , obtenemos la valoración lingüística 2-tupla $(ME, -.5)$ que corresponde a la valoración *Medio* con una traslación simbólica de -0.5 .

$$v_B^3(x_1) = \Delta_{\bar{S}}(7.52 \times 0 + 4.03 \times 0.07 + 4.03 \times 0.33 + 4.03 \times 0.33 + 2.65 \times 0.27 + 2.65 \times 0) = \Delta_{\bar{S}}(3.66) = (\bar{s}_4, -.34) = (ME, -.34)$$

En la Tabla 4.3 se incluyen los resultados intermedios de las evaluaciones globales para cada empleado agrupadas por colectivo y criterio de nuestro caso de estudio utilizando el operador *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla y el cuantificador lingüístico “*Most*”.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Tabla 4.3: Valoraciones globales por colectivo para cada criterio

Criterio	Colectivo	Valoración para x_1	Valoración para x_2
Y_1	A	(MBA, .24)	(PE, -.24)
Y_2	A	(BA, .04)	(MAT, .04)
Y_3	A	(ME, .0)	(MAT, .33)
	B	(ME, -.34)	(LAT, -.46)
	C	(AT, -.07)	(MAT, .07)
Y_4	A	(ME, .0)	(LAT, .0)
	B	(BA, .2)	(LAT, .05)
Y_5	A	(ME, .03)	(MAT, -.35)
	B	(ME, -.34)	(LAT, .05)

4.2.3.3. Cálculo de las valoraciones globales para cada criterio

En esta etapa se calculan las valoraciones globales por criterio para cada empleado, utilizando operadores de agregación lingüísticos 2-tupla.

En el modelo que presentamos en este Capítulo, se propone el uso del operador de agregación lingüístico 2-tupla *Media Ponderada*, el cual requiere de un vector de pesos \mathbf{w} para agregar la información. Dicho operador permite a las empresas establecer diferente peso a cada colectivo evaluador, teniendo en cuenta el conocimiento de cada colectivo sobre el criterio a evaluar. A continuación presentamos la definición formal del operador *Media Ponderada* para valoraciones lingüísticas 2-tupla:

Definición 17 [69]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valoraciones lingüísticas 2-tupla, y $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m), w_i \in [0, 1]$ un vector de pesos tal que $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. El operador 2-tupla *Media Ponderada* asociado con \mathbf{w} , $F^{\mathbf{w}} : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definido como:

$$F^{\mathbf{w}}((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m w_i \Delta_S^{-1}(s_i, \alpha_i) \right) = (s_l, \alpha_l) \in \langle S \rangle. \quad (4.7)$$

Para calcular la evaluación global de cada criterio mediante el operador de agregación 2-tupla *Media Ponderada* es necesario definir un vector de pesos, el cual es proporcionado por el departamento de Recursos Humanos. Así, nuestro

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

modelo utilizará para el cálculo de las valoraciones globales para cada criterio, las valoraciones colectivas para cada colectivo y cada criterio obtenidas en el paso previo $v_A^k(x_j)$, $v_B^k(x_j)$ y $v_C^k(x_j)$, para cada $k \in \{1, \dots, p\}$, expresadas en valoraciones lingüísticas 2-tupla en \bar{S} , para agregarlas mediante la función $F_k^w : \langle \bar{S} \rangle^3 \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$, donde $w = (w_A, w_B, w_C)$ y $\sum w_i = 1$, obteniendo un valor global para cada criterio Y_k representado por un valor lingüístico 2-tupla en el CBTL:

$$v^k(x_j) = F_k^w(v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j)) \in \langle \bar{S} \rangle. \quad (4.8)$$

Continuando con el caso de estudio propuesto en este Capítulo, a continuación presentamos un ejemplo de las valoraciones globales por criterio obtenidas aplicando el operador de agregación lingüístico 2-tupla *Media Ponderada*.

Ejemplo 9 Para nuestro ejemplo, el departamento de Recursos Humanos ha fijado para cada criterio el vector de pesos para los colectivos evaluadores. Los pesos para cada colectivo y criterio son los siguientes:

$$Y_1 : w_A = 1$$

$$Y_2 : w_A = 1$$

$$Y_3 : w_A = 0.25; w_B = 0.25; w_C = 0.5$$

$$Y_4 : w_A = 0.50; w_B = 0.50;$$

$$Y_5 : w_A = 0.75; w_B = 0.25;$$

Seguidamente, se muestra un ejemplo del cálculo de la valoración global del criterio, Y_3 , del empleado evaluado, x_1 , mediante el operador *Media Ponderada* para valoraciones lingüísticas 2-tupla donde obtenemos la valoración lingüística 2-tupla $(AT, -.5)$ que corresponde a la valoración *Alto* con una traslación simbólica de -0.5 .

$$\begin{aligned} v^3(x_1) &= F_3^w(v_A^3(x_1), v_B^3(x_1), v_C^3(x_1)) = \Delta_{\bar{S}}(4 \times 0.25 + 3.66 \times 0.25 + 4.93 \times 0.5) = \\ &= \Delta_{\bar{S}}(4.38) = (s_4, .38) = (ME, .38) \end{aligned}$$

En la Tabla 4.4 se incluyen los resultados intermedios de las evaluaciones globales para cada empleado por cada criterio de nuestro caso de estudio, utilizando el operador 2-tupla media ponderada con los pesos indicados previamente.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Tabla 4.4: Valoraciones globales para cada criterio.

Criterio	Valoración para x_1	Valoración para x_2
Y_1	(MBA, .24)	(PE, -.24)
Y_2	(BA, .04)	(MAT, .04)
Y_3	(ME, .38)	(MAT, -.25)
Y_4	(ME, -.4)	(LAT, -.02)
Y_5	(ME, -.06)	(LAT, .48)

4.2.3.4. Cálculo de la valoración global

En esta etapa se agregan las valoraciones globales de los criterios evaluados de un empleado con el fin de obtener una única valoración global del empleado.

En la vida real, los criterios utilizados en el proceso de evaluación del desempeño podrían estar interrelacionados y, por tanto, dicha dependencia debería ser tenida en cuenta a la hora calcular la valoración global del empleado con el fin de obtener resultados realistas. Por esta razón, en el modelo presentado en este Capítulo, se distinguen dos casos de manera diferenciada. El primer caso es la existencia de independencia entre todos los criterios involucrados. El segundo caso es la existencia de dependencia entre algunos de los criterios evaluados.

A continuación se presenta la etapa de valoración global para cada uno de los casos.

- **Cálculo de la valoración global asumiendo la independencia entre los criterios evaluados**

En este caso partimos de la hipótesis que existe independencia entre todos los criterios evaluados. Según las necesidades del proceso de evaluación del desempeño integral llevado a cabo, es posible seleccionar un gran abanico de operadores de agregación para valoraciones lingüísticas 2-tupla para obtener la valoración global, ya sea la *Media Ponderada*, la *Media Aritmética*, el *Mínimo*, el *Máximo*, la *Mediana*, etc.

En nuestro caso, para evaluaciones con independencia de criterios, proponemos utilizar el operador *Media Ponderada* para valores lingüísticos 2-tupla, ya que el departamento de Recursos Humanos puede asignar un peso concreto a cada uno de los criterios evaluados.

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

El operador de *Media Ponderada* para valoraciones lingüísticas 2-tupla fue indicado en la Definición 17, ya que fue empleado para calcular el valor global para cada criterio. Por tanto, para realizar el cálculo de la valoración global asumiendo independencia entre criterios, en nuestro modelo, el proceso de agregación será llevado a cabo de la siguiente manera:

$$v(x_j) = F^w(v^1(x_j), v^2(x_j), \dots, v^p(x_j)) \in \langle \bar{S} \rangle. \quad (4.9)$$

Obteniendo así una valoración 2-tupla lingüística global para cada evaluado expresada en nuestro CBTL, \bar{S} .

Siguiendo con nuestro caso de estudio, vamos a mostrar la valoración global de los dos empleados evaluados en el caso de que todos los criterios sean independientes.

Ejemplo 10 Para realizar el proceso de agregación con el operador *Media Ponderada* 2-tupla, el departamento de Recursos Humanos fija el siguiente vector de pesos $w = (0.20, 0.20, 0.35, 0.15, 0.10)$. A continuación, se indica el proceso para calcular la valoración global de los empleados, x_1 y x_2 , donde para el empleado x_1 obtenemos la valoración lingüística 2-tupla $(ME, -0.48)$, que corresponde a la valoración *Medio* con una traslación simbólica de -0.48 .

$$v(x_1) = \Delta_{\bar{S}}(2.24 \times 0.20 + 3.04 \times 0.20 + 4.38 \times 0.35 + 3.6 \times 0.15 + 3.94 \times 0.10) = \Delta_{\bar{S}}(3.52) = (\bar{s}_4, -0.48) = (ME, -0.48)$$

Y para el empleado x_2 obtenemos la valoración lingüística 2-tupla $(MAT, -0.14)$, que corresponde a la valoración *MuyAlto* con una traslación simbólica de -0.13 .

$$v(x_2) = \Delta_{\bar{S}}(7.76 \times 0.20 + 7.04 \times 0.20 + 6.75 \times 0.35 + 5.98 \times 0.15 + 6.48 \times 0.10) = \Delta_{\bar{S}}(6.86) = (\bar{s}_7, -0.14) = (MAT, -0.14)$$

En la Tabla 4.5 se incluyen las valoraciones globales para cada empleado de nuestro caso de estudio utilizando el operador 2-tupla *Media Ponderada* con los pesos indicados previamente.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Tabla 4.5: Valoraciones globales por empleado considerando la independencia de criterios

Valoración para x_1	Valoración para x_2
$(ME, -.48)$	$(MAT, -.14)$

Cabe destacar que el empleado evaluado con mejor calificación para realizar la promoción es el empleado, x_2 , con una valoración lingüística de $(MAT, -.14)$, la cual indica una valoración de *Muy Alto* con una traslación simbólica de -0.14 .

■ Cálculo de la valoración global asumiendo la dependencia entre criterios evaluados

En este caso partimos de la hipótesis que existe dependencia entre algunos de los criterios evaluados. Dicha dependencia es tomada en cuenta a la hora de agregar las valoraciones globales por criterios para calcular la valoración global por empleado con el fin de reflejar la realidad.

La valoración global es obtenida a través de un operador de agregación que agrega las valoraciones globales de los criterios y que debe tener en cuenta la interacción entre los distintos criterios de evaluación. Para hacer frente a la dependencia de criterios, se propone el uso de la *Integral de Choquet* discreta [34], ya que este operador de agregación permite capturar la interacción entre los argumentos a agregar a través de las medidas difusas que requiere dicho operador. Dado que en nuestro caso los valores a agregar están expresados en valoraciones lingüísticas 2-tupla, se utilizará la *Integral de Choquet* discreta para valoraciones lingüísticas 2-tupla [133].

A continuación se proporciona la definición de medida difusa y, posteriormente, la definición de la *Integral de Choquet* discreta para valores lingüísticos 2-tupla. Para profundizar más sobre la *Integral de Choquet* y las medidas difusas se ha incorporado el Apéndice B donde se detallan dichos conceptos, otros relacionados y se ilustran algunos ejemplos.

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Definición 18 [116]. Una medida difusa es una función de conjuntos $\mu : 2^N \rightarrow [0, 1]$ que satisface las siguientes condiciones:

- $\mu(\emptyset) = 0$
- $\mu(N) = 1$
- $\mu(A) \leq \mu(B)$ siempre que $A \subseteq B$ (μ es monótona).

Definición 19 [133]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ sea un conjunto de atributos y μ una medida difusa en Y , la Integral de Choquet discreta para valores lingüísticos 2-tupla $IC_\mu : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definida como:

$$IC_\mu((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m [(\mu(H_{\sigma(i)}) - (\mu(H_{\sigma(i-1)}))) \Delta_{\bar{S}}^{-1}(s_i, \alpha_i)] \right), \quad (4.10)$$

donde $(\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(m))$ es una permutación de $(1, 2, \dots, m)$ tal que, $((s_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}) \geq (s_{\sigma(2)}, \alpha_{\sigma(2)}) \geq \dots \geq (s_{\sigma(m)}, \alpha_{\sigma(m)}))$, sea $y_{\sigma(i)}$ el atributo correspondiente a $(s_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)})$ y $(H)_{\sigma(i)} = \{y_{\sigma(k)} | k \leq i\}$ para $i \geq 1$ con $(H)_{\sigma(0)} = \emptyset$.

Así, para nuestro modelo, el cálculo de la valoración global considerando la dependencia de algunos de los criterios involucrados en el proceso de evaluación del desempeño, es llevada a cabo de la siguiente manera:

$$v(x_j) = IC_\mu(v^1(x_j), v^2(x_j), \dots, v^p(x_j)) \in \langle \bar{S} \rangle. \quad (4.11)$$

Obteniendo así una valoración 2-tupla lingüística global para cada evaluado expresada en nuestro CBTL, \bar{S} .

Siguiendo con nuestro caso de estudio, vamos a obtener la valoración global por empleado con la consideración de criterios dependientes.

Ejemplo 11 El departamento de Recursos Humanos ha fijado una serie de interacciones entre los criterios evaluados, las cuales están representadas a través de las siguientes medidas difusas.

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

$$\begin{aligned}\mu(Y_1) &= 0.15 & \mu(Y_2) &= 0.15 & \mu(Y_1, Y_2) &= 0.55 \\ \mu(Y_3) &= 0.30 & \mu(Y_4) &= 0.10 \\ \mu(Y_5) &= 0.05\end{aligned}$$

En otro caso: $\mu(R \cup T) = \max\{\mu(R) + \mu(T)\}$, $R, T \in 2^Y$, $R \cap T = \emptyset$.

Como se puede observar en la medida difusa $\mu(Y_1, Y_2) = 0.55$ existe dependencia entre el criterio Y_1 e Y_2 , ya que $\mu(Y_1, Y_2) > \mu(Y_1) + \mu(Y_2)$, potenciando la unión de ambos criterios a través de una sinergia positiva, al ser la medida difusa superaditiva [2].

A continuación se muestra el cálculo de la valoración global, teniendo en cuenta la dependencia entre criterios, para los empleados x_1 y x_2 , utilizando el operador de agregación *Integral de Choquet* discreta para valoraciones lingüísticas 2-tupla.

Dado que en la *Integral de Choquet* la magnitud de los argumentos es relevante, se indica el conjunto de valores para x_1 a agregar, ordenados de mayor a menor para clarificar el proceso:

$$\begin{aligned}(\bar{s}_4, .38) &> (\bar{s}_4, -.06) > (\bar{s}_4, -.40) > (\bar{s}_3, .04) > (\bar{s}_2, .24) \equiv \\ (v^3(x_1)) &> (v^5(x_1)) > (v^4(x_1)) > (v^2(x_1)) > (v^1(x_1))\end{aligned}$$

Por tanto, dichos valores corresponden a las valoraciones de los siguientes criterios ordenados de acuerdo a sus valoraciones

$$Y_3 > Y_5 > Y_4 > Y_2 > Y_1$$

A continuación, se indican las medidas difusas que son utilizadas en el operador de agregación en función de los argumentos a agregar para los valores del empleado x_1 .

$$\mu(H_{\sigma(1)}) - \mu(H_{\sigma(0)}) = (\mu(Y_3)) - 0 = 0.30$$

$$\mu(H_{\sigma(2)}) - \mu(H_{\sigma(1)}) = (\mu(Y_3) + \mu(Y_5)) - (\mu(Y_3)) = (0.30 + 0.05) - 0.30 = 0.05$$

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

$$\mu(H_{\sigma(3)}) - \mu(H_{\sigma(2)}) = (\mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4)) - (\mu(Y_3) + \mu(Y_5)) = (0.30 + 0.05 + 0.10) - (0.30 + 0.05) = 0.10$$

$$\mu(H_{\sigma(4)}) - \mu(H_{\sigma(3)}) = (\mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4) + \mu(Y_2)) - (\mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4)) = (0.30 + 0.05 + 0.10 + 0.15) - (0.30 + 0.05 + 0.10) = 0.15$$

$$\mu(H_{\sigma(5)}) - \mu(H_{\sigma(4)}) = (\mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4) + \mu(Y_1, Y_2)) - (\mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4) + \mu(Y_2)) = 1 - (0.30 + 0.05 + 0.10 + 0.15) = 0.40$$

Así, la valoración global para el empleado, x_1 , obtenida al aplicar la *Integral de Choquet* para valoraciones lingüísticas 2-tupla es $(BA, .22)$, que corresponde a la valoración lingüística *Bajo* con una traslación simbólica de 0.22.

$$\begin{aligned} v(x_1) &= \Delta(0.30 \times 4.38 + 0.05 \times 3.94 + 0.10 \times 3.6 + 0.15 \times 3.04 + 0.40 \times 2.24) = \\ &= \Delta_{\bar{5}}(3.22) = (\bar{s}_3, .22) = (BA, .22) \end{aligned}$$

Para el empleado x_2 el conjunto de valores para a agregar ordenados de mayor a menor para clarificar el proceso:

$$\begin{aligned} (\bar{s}_8, -.24) &> (\bar{s}_7, .04) > (\bar{s}_7, -.25) > (\bar{s}_6, .48) > (\bar{s}_5, .98) \equiv \\ (v^1(x_2)) &> (v^2(x_2)) > (v^3(x_2)) > (v^5(x_2)) > (v^4(x_2)) \end{aligned}$$

Por tanto, dichos valores corresponden a las valoraciones de los siguientes criterios ordenados de acuerdo a sus valoraciones

$$Y_1 > Y_2 > Y_3 > Y_5 > Y_4$$

A continuación, se indican las medidas difusas que son utilizadas en el operador de agregación en función de los argumentos a agregar para los valores del empleado x_2 .

$$\mu(H_{\sigma(1)}) - \mu(H_{\sigma(0)}) = (\mu(Y_1)) - 0 = 0.15$$

4.2. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

$$\mu(H_{\sigma(2)}) - \mu(H_{\sigma(1)}) = (\mu(Y_1, Y_2)) - (\mu(Y_1)) = 0.55 - 0.15 = 0.40$$

$$\mu(H_{\sigma(3)}) - \mu(H_{\sigma(2)}) = (\mu(Y_1, Y_2) + \mu(Y_3)) - \mu(Y_1, Y_2) = (0.55 + 0.30) - 0.55 = 0.30$$

$$\mu(H_{\sigma(4)}) - \mu(H_{\sigma(3)}) = (\mu(Y_1, Y_2) + \mu(Y_3) + \mu(Y_5)) - (\mu(Y_1, Y_2) + \mu(Y_3)) = (0.55 + 0.30 + 0.05) - (0.55 + 0.30) = 0.05$$

$$\mu(H_{\sigma(5)}) - \mu(H_{\sigma(4)}) = (\mu(Y_1, Y_2) + \mu(Y_3) + \mu(Y_5) + \mu(Y_4)) - (\mu(Y_1, Y_2) + \mu(Y_3) + \mu(Y_5)) = 1 - (0.55 + 0.30 + 0.05) = 0.10$$

Así, la valoración global para el empleado, x_2 , obtenida al aplicar la *Integral de Choquet* para valoraciones lingüísticas 2-tupla es $(MAT, -.07)$, que corresponde a la valoración lingüística *MuyAlto* con una traslación simbólica de -0.07 .

$$\begin{aligned} v(x_2) &= \Delta(0.15 \times 7.76 + 0.40 \times 7.04 + 0.30 \times 6.75 + 0.05 \times 6.48 + 0.10 \times 5.98) = \\ &= \Delta_{\bar{S}}(6.93) = (\bar{s}_7, -.07) = (MAT, -.07) \end{aligned}$$

En la Tabla 4.6 se incluyen las valoraciones globales para cada empleado de nuestro caso de estudio utilizando el operador de agregación *Integral de Choquet* para valoraciones lingüísticas 2-tupla.

Tabla 4.6: Valoraciones globales por empleado considerando la dependencia de criterios

Valoración para x_1	Valoración para x_2
$(BA, .22)$	$(MAT, -.07)$

Después de llevar a cabo el caso de estudio a lo largo de todo el Capítulo, se puede indicar que el empleado con mejor valoración global es, x_2 , con una valoración de $(MAT, -.07)$ que corresponde a *Muy alto* con una traslación simbólica de -0.07 .

4. Modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible dependencia entre criterios

Para concluir este Capítulo, cabe indicar que el modelo de evaluación del desempeño 360-grados o integral presentado, puede manejar valoraciones expresadas en diferentes dominios de expresión, proporciona resultados intermedio y finales expresados en un dominio lingüístico 2-tupla y considera la posible dependencia entre los criterios a evaluar.

Los resultados intermedios y finales son comprensibles e interpretables por parte de los miembros de la compañía y por tanto facilitan a los miembros del departamento de Recursos Humanos de una empresa la tarea de tomar sus decisiones. Por lo general, las evaluaciones globales son utilizadas por las empresas con el fin de aplicar algunas políticas específicas en la misma. Cuando la evaluación global final no es suficiente o cuando el departamento de Recursos Humanos requiere de evaluaciones intermedias por colectivos o criterios, los resultados intermedios pueden ser revisados y, al igual que las valoraciones globales, se encuentran expresados en valoraciones lingüísticas.

Capítulo 5

Caso de estudio

En este Capítulo se presenta un caso de estudio real en una multinacional textil en el cual ha sido aplicado el nuevo modelo para evaluación del desempeño integral con información heterogénea considerando la posible interacción entre los criterios, presentado en el Capítulo anterior. A lo largo de éste, veremos las distintas fases de un proceso de evaluación integral e iremos viendo los resultados obtenidos de la aplicación del modelo en cada fase. Por último analizaremos los resultados intermedios y globales obtenidos, realizando unas conclusiones sobre los mismos.

5.1. Introducción

Después de haber presentado en el Capítulo 4 un nuevo modelo para evaluación del desempeño integral basado en información heterogénea, el cual puede asumir o no la dependencia entre criterios según el proceso llevado a cabo, en este Capítulo, vamos a poner en práctica dicho modelo, presentando un caso de estudio real donde algunos de los criterios involucrados presentan dependencia entre ellos.

El caso de estudio ha sido llevado a cabo en una empresa multinacional muy conocida del sector textil con numerosas tiendas alrededor del mundo, que por cuestiones de privacidad no se incluye el nombre dicha empresa. En el caso de estudio han sido considerados once criterios para ser evaluados, presentando algunos dependencia entre ellos. Además, las valoraciones de los

empleados evaluados han sido proporcionadas en diversos dominios de expresión, en concreto en dominios numéricos y lingüísticos.

En las siguientes Secciones presentaremos con detalle el caso de estudio real, describiendo cada una de las fases del modelo de evaluación del desempeño integral con información heterogénea que considera la dependencia de criterios (ver Figura 4.1).

5.2. Definición del marco de evaluación

En esta fase del proceso de evaluación, se fijaron los trabajadores a evaluar y los colectivos evaluadores. Además, se fijaron los criterios por los que iban a ser evaluados los trabajadores, así como los dominios de expresión utilizados por cada colectivo para cada criterio.

En primer lugar se fijaron los colectivos de evaluadores del problema: supervisores, compañeros y clientes. A continuación, se indica el número de evaluadores por cada colectivo:

- Un conjunto de **supervisores** que, en el caso de esta compañía, se divide en 3 subconjuntos:

1. El conjunto de los *Directores de área*:

$$A^A = \{a_1^A\}.$$

2. El conjunto de los *Supervisores directos*:

$$A^D = \{a_1^D, a_2^D, a_3^D\}.$$

3. El conjunto de los *Supervisores no directos*:

$$A^{NAD} = \{a_1^{NAD}, a_2^{NAD}, a_3^{NAD}\}.$$

Por lo tanto, el colectivo de supervisores se define como $A = A^A \cup A^D \cup A^{NAD}$ donde $A^A \cap A^D \cap A^{NAD} = \emptyset$.

- Un conjunto de **compañeros** consistente en:

1. Un subconjunto de *Empleados vendedores*:

$$B^S = \{b_1^S, b_2^S, b_3^S, b_4^S, b_5^S, b_6^S, b_7^S\}.$$

5.2. Definición del marco de evaluación

2. Un subconjunto de *Empleados no vendedores*:

$$B^{NAS} = \{b_1^{NAS}, b_2^{NAS}, b_3^{NAS}, b_4^{NAS}\}.$$

Por lo tanto, el conjunto de compañeros se define como

$$B = B^S \cup B^{NS}, \text{ siendo } B^S \cap B^{NS} = \emptyset.$$

- Y finalmente, un conjunto de **clientes**: $C = \{c_1, \dots, c_{20}\}$. Obviamente, dicha cantidad no es el total de clientes que visitaron la tienda durante un mes. Hemos seleccionado veinte muestras con el fin de simplificar el caso de estudio.

Este caso de estudio se centra en el proceso de evaluación llevado a cabo por la empresa sobre los empleados de venta de la tienda. De acuerdo con esto, el conjunto de criterios utilizados por la empresa para evaluar tales empleados fueron los siguientes:

- Y_1 : *Nivel de devoluciones*. Este criterio expresa la cantidad de devoluciones que ha sufrido el empleado.
- Y_2 : *Desajuste en caja*. Este criterio expresa el importe que no ha cuadrado en caja al concluir el mes laboral.
- Y_3 : *Tiempo medio de cierre*. Después de la hora de cierre, cada empleado tiene que organizar una zona de la tienda específica. Este criterio mide cuanto tarda el empleado para organizar su zona.
- Y_4 : *Identificación con la compañía*. Este criterio mide su identificación con los productos que vende la compañía, su implicación en los valores de la empresa y su confianza en ella.
- Y_5 : *Interés en formarse*. Este criterio expresa su actitud positiva para aprender y mejorar.
- Y_6 : *Tareas de trabajo*. Este criterio mide su organización del stock, la sustitución de productos, el grado de coordinación y el orden y, finalmente, la limpieza en el trabajo.
- Y_7 : *Servicio al cliente*. Este criterio mide si un trabajador es dispuesto, siempre saluda y agradece a los clientes su compra.

- Y_8 : *Responsabilidad*. Este criterio mide si el trabajador logra el trabajo diario correctamente, si no sale de la tienda antes de finalizar el trabajo, si realiza las tareas que no son de su responsabilidad, si asume las consecuencias de sus actos y, por último, si llega siempre a tiempo al trabajo.
- Y_9 : *Iniciativa*. Este criterio expresa si el trabajador propone ideas y soluciones, toma decisiones dentro de sus responsabilidades, acepta la supervisión y por último ayuda a colaboradores y compañeros de trabajo.
- Y_{10} : *Servir de ejemplo*. Este criterio mide si cumple todas las normas y métodos de la tienda, es modelo para sus compañeros de trabajo y colaboradores y tiene una actitud positiva y constructiva.
- Y_{11} : *Imagen personal*. Este criterio mide la forma de vestir con estilo del trabajador, así como sus modales.

Cada colectivo de evaluadores expresa sus opiniones sobre los empleados a evaluar acerca de cada criterio, de acuerdo con la naturaleza de tales criterios y su formación, a través de un valoración expresada en un dominio específico: numérico o lingüístico. Específicamente, en este caso de estudio, los evaluadores pueden expresar sus valoraciones lingüísticas en cuatro dominios lingüísticos con diferente número de términos lingüísticos $\{S^3, S^5, S^7, S^9\}$. Cada conjunto de términos lingüísticos se distribuye de forma simétrica y uniforme, siendo su sintaxis la siguiente:

$$S^3 = \{Nada (NA), Medio (ME), Perfecto (PE)\}$$

$$S^5 = \{Nada (NA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), Perfecto (PE)\}$$

$$S^7 = \{Nada (NA), MuyBajo (MBA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), Muyalto (MAT), Perfecto (PE)\}$$

$$S^9 = \{Nada (NA), CasiNada (CNA), MuyBajo (MBA), Bajo (BA), Medio (ME), Alto (AT), LigeramenteAlto (LAT), MuyAlto (MAT), Perfecto (PE)\}$$

Por otra parte, es importante tener en cuenta que no todos colectivos de los evaluadores valoran a todos los empleados atendiendo a los mismos criterios. Por ejemplo, los clientes solo evalúan a los empleados a evaluar con respecto a los criterios de Y_7 y Y_{11} , debido al hecho de que ellos no tienen conocimiento

5.3. Recolección de la información

suficiente para evaluar otros criterios. En la Tabla 5.1, se han resumido los evaluadores por colectivos para cada criterio y el dominio de expresión utilizado para evaluar cada criterio. En dicha tabla, N , viene a simbolizar un dominio numérico y S^x , el conjunto de términos lingüísticos a utilizar donde x indica el número de términos de dicho conjunto.

		A^A	A^D	A^{ND}	B^S	B^{NS}	C
Coste	Y_1	N					
	Y_2	N					
	Y_3		N				
Beneficio	Y_4	S^7	S^7	S^7	S^5	S^5	
	Y_5	S^5	S^5	S^5			
	Y_6		S^9				
	Y_7	S^3	S^3	S^3	S^3	S^3	S^7
	Y_8		S^7				
	Y_9		S^7	S^7	S^3	S^3	
	Y_{10}	S^7	S^7	S^7		S^3	
	Y_{11}	S^5	S^5	S^5	S^5	S^5	S^3

Tabla 5.1: Dominios de expresión utilizados por colectivo y criterio

5.3. Recolección de la información

Una vez que el marco de evaluación fue fijado, los evaluadores expresaron sus opiniones sobre los empleados evaluados. De la Tabla 5.2 a la Tabla 5.19 se indican las valoraciones proporcionadas por los evaluadores sobre cada empleado evaluado para cada criterio.

Tabla 5.2: Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_1 , expresados en número de prendas

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	110	113	104	107	120	115	133

5. Caso de estudio

Tabla 5.3: Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_2 , expresados en euros

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	21	23	18	20	28	25	34

Tabla 5.4: Valores numéricos para cada empleado sobre el criterio Y_3 , expresados en minutos

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^D	10	10	15	14	17	17	15
a_2^D	11	12	16	13	18	16	13
a_3^D	10	10	15	13	20	15	14

Tabla 5.5: Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_4

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	<i>MuyAlto</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Perfecto</i>
a_1^D	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
a_2^D	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_3^D	<i>MuyAlto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>MuyAlto</i>
a_1^{ND}	<i>MuyAlto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyAlto</i>
a_2^{ND}	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Alto</i>
a_3^{ND}	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>MuyAlto</i>

Tabla 5.6: Valoraciones de los colaboradores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_4

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
b_1^S	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>
b_2^S	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Perfecto</i>
b_3^S	<i>Perfecto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Perfecto</i>
b_4^S	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
b_5^S	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
b_6^S	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
b_7^S	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
b_1^{NS}	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Perfecto</i>
b_2^{NS}	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Perfecto</i>
b_3^{NS}	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
b_4^{NS}	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>

5.3. Recolección de la información

Tabla 5.7: Valoraciones de los supervisores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_5

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_1^D	<i>Perfecto</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
a_2^D	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>
a_3^D	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_1^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Alto</i>
a_2^{ND}	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
a_3^{ND}	<i>Bajo</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>

Tabla 5.8: Valoraciones de los supervisores en S^9 para cada empleado sobre el criterio Y_6

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^D	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>LigeramteAlto</i>	<i>Medio</i>	<i>LigeramteAlto</i>
a_2^D	<i>LigeramteAlto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>LigeramteAlto</i>	<i>LigeramteAlto</i>	<i>MuyAlto</i>
a_3^D	<i>Alto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>LigeramteAlto</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>

Tabla 5.9: Valoraciones de los supervisores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_7

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	<i>Perfecto</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_1^D	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_2^D	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
a_3^D	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>
a_1^{ND}	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Perfecto</i>
a_2^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
a_3^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>

5. Caso de estudio

Tabla 5.10: Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_7

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
b_1^S	Medio	Medio	Perfecto	Nada	Perfecto	Medio	Perfecto
b_2^S	Perfecto	Medio	Perfecto	Nada	Medio	Perfecto	Medio
b_3^S	Medio	Medio	Medio	Nada	Medio	Nada	Perfecto
b_4^S	Perfecto	Perfecto	Medio	Nada	Medio	Medio	Perfecto
b_5^S	Perfecto	Medio	Medio	Medio	Medio	Perfecto	Medio
b_6^S	Perfecto	Medio	Medio	Nada	Medio	Nada	Perfecto
b_7^S	Perfecto	Medio	Nada	Nada	Medio	Medio	Perfecto
b_1^{NS}	Medio	Medio	Nada	Nada	Perfecto	Perfecto	Perfecto
b_2^{NS}	Medio	Medio	Nada	Medio	Medio	Nada	Perfecto
b_3^{NS}	Perfecto	Perfecto	Nada	Medio	Medio	Perfecto	Perfecto
b_4^{NS}	Medio	Nada	Nada	Medio	Medio	Medio	Perfecto

Tabla 5.11: Valoraciones de los clientes en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_7

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
c_1	Medio	Medio	MuyBajo	Medio	Nada	MuyAlto	Perfecto
c_2	Medio	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Medio	MuyAlto
c_3	Medio	MuyBajo	Nada	MuyBajo	Medio	Medio	MuyAlto
c_4	Medio	MuyBajo	Nada	MuyBajo	Medio	MuyAlto	MuyAlto
c_5	Medio	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	MuyAlto	MuyAlto
c_6	Medio	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	MuyAlto	MuyAlto
c_7	MuyBajo	Nada	Nada	Nada	MuyBajo	Medio	MuyAlto
c_8	MuyBajo	Nada	Nada	Medio	MuyBajo	Medio	Medio
c_9	Medio	MuyBajo	Nada	Medio	Nada	Medio	MuyAlto
c_{10}	Perfecto	Medio	MuyAlto	MuyBajo	Medio	MuyAlto	MuyAlto
c_{11}	Medio	Medio	Nada	MuyBajo	Nada	MuyAlto	MuyAlto
c_{12}	MuyBajo	MuyBajo	MuyBajo	MuyBajo	Nada	Perfecto	Medio
c_{13}	MuyBajo	Nada	Nada	MuyBajo	Nada	Medio	MuyAlto
c_{14}	Medio	Medio	Nada	Medio	MuyBajo	Medio	MuyAlto
c_{15}	Medio	Nada	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Medio	MuyBajo
c_{16}	MuyAlto	Nada	Nada	MuyBajo	MuyBajo	MuyAlto	Medio
c_{17}	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	MuyBajo	Medio	Medio
c_{18}	MuyBajo	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Medio	Nada
c_{19}	MuyBajo	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Medio	Medio
c_{20}	MuyBajo	MuyBajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Medio	Perfecto

5.3. Recolección de la información

Tabla 5.12: Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_8

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^D	<i>Perfecto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Perfecto</i>
a_2^D	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>MuyAlto</i>
a_3^D	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Perfecto</i>

Tabla 5.13: Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_9

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^D	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>
a_2^D	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
a_3^D	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyAlto</i>
a_1^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Alto</i>
a_2^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>Medio</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Perfecto</i>
a_3^{ND}	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>MuyBajo</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>MuyAlto</i>	<i>Perfecto</i>

Tabla 5.14: Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_9

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
b_1^S	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>
b_2^S	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>
b_3^S	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>
b_4^S	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Perfecto</i>
b_5^S	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>
b_6^S	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>
b_7^S	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Perfecto</i>
b_1^{NS}	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Perfecto</i>
b_2^{NS}	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>
b_3^{NS}	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>
b_4^{NS}	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Nada</i>	<i>Medio</i>

Tabla 5.15: Valoraciones de los supervisores en S^7 para cada empleado sobre el criterio Y_{10}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	Medio	Medio	Bajo	Nada	Nada	MuyBajo	Bajo
a_1^D	Medio	Bajo	Bajo	MuyBajo	Nada	MuyBajo	Bajo
a_2^D	Medio	Bajo	Bajo	Nada	MuyBajo	MuyBajo	Bajo
a_3^D	Bajo	Bajo	MuyBajo	Nada	MuyBajo	Bajo	MuyBajo
a_1^{ND}	Medio	Bajo	Bajo	MuyBajo	MuyBajo	MuyBajo	Bajo
a_2^{ND}	Alto	Bajo	Bajo	MuyBajo	MuyBajo	Nada	Bajo
a_3^{ND}	Alto	Nada	Bajo	MuyBajo	MuyBajo	Nada	Bajo

Tabla 5.16: Valoraciones de los colaboradores en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_{10}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
b_1^{NS}	Nada	Medio	Nada	Nada	Medio	Medio	Medio
b_2^{NS}	Medio	Medio	Nada	Nada	Medio	Medio	Medio
b_3^{NS}	Nada	Medio	Nada	Nada	Nada	Nada	Perfecto
b_4^{NS}	Nada	Medio	Nada	Nada	Nada	Nada	Perfecto

Tabla 5.17: Valoraciones de los supervisores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	Perfecto	Medio	Medio	Perfecto	Medio	Alto	Perfecto
a_1^D	Medio	Bajo	Medio	Perfecto	Medio	Medio	Alto
a_2^D	Alto	Medio	Medio	Perfecto	Medio	Alto	Perfecto
a_3^D	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto
a_1^{ND}	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Perfecto
a_2^{ND}	Alto	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alto	Perfecto
a_3^{ND}	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	Perfecto

5.3. Recolección de la información

Tabla 5.18: Valoraciones de los colaboradores en S^5 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
b_1^S	Medio	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Alto
b_2^S	Medio	Medio	Medio	Perfecto	Medio	Medio	Alto
b_3^S	Medio	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Perfecto
b_4^S	Medio	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Perfecto
b_5^S	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Perfecto
b_6^S	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
b_7^S	Alto	Bajo	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto
b_1^{NS}	Alto	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Alto
b_2^{NS}	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto
b_3^{NS}	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Alto
b_4^{NS}	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Perfecto

Tabla 5.19: Valoraciones de los clientes en S^3 para cada empleado sobre el criterio Y_{11}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
c_1	Perfecto	Medio	Medio	Perfecto	Medio	Perfecto	Perfecto
c_2	Perfecto	Medio	Medio	Perfecto	Medio	Perfecto	Perfecto
c_3	Medio	Medio	Nada	Perfecto	Medio	Perfecto	Perfecto
c_4	Medio	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio	Perfecto
c_5	Medio	Medio	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio
c_6	Medio	Nada	Medio	Perfecto	Medio	Perfecto	Perfecto
c_7	Medio	Medio	Medio	Perfecto	Nada	Medio	Perfecto
c_8	Perfecto	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio	Medio
c_9	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
c_{10}	Medio	Medio	Nada	Medio	Perfecto	Medio	Medio
c_{11}	Perfecto	Medio	Medio	Medio	Medio	Nada	Medio
c_{12}	Perfecto	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio	Perfecto
c_{13}	Perfecto	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio	Perfecto
c_{14}	Medio	Medio	Nada	Medio	Medio	Medio	Nada
c_{15}	Perfecto	Nada	Medio	Medio	Medio	Medio	Perfecto
c_{16}	Perfecto	Medio	Medio	Nada	Medio	Medio	Perfecto
c_{17}	Medio	Medio	Medio	Nada	Nada	Nada	Perfecto
c_{18}	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Perfecto	Perfecto
c_{19}	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Perfecto	Perfecto
c_{20}	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio

5.4. Valoración global

De acuerdo con las fases del modelo propuesto en el Capítulo 4, para obtener las valoraciones globales debemos, en primer lugar, unificar la información proporcionada por los evaluadores en un dominio lingüístico 2-tupla. Acto seguido, la información lingüística se agrega en múltiples etapas para obtener valoraciones intermedias y globales de cada empleado evaluado. En tal proceso de agregación será considerado el peso y la relevancia de los diferentes colectivos y criterios, así como la interacción entre los criterios. Finalmente, los diferentes resultados lingüísticos obtenidos a través del proceso de agregación, serán analizados por el departamento de Recursos Humanos.

5.4.1. Unificación de información heterogénea

En primer lugar tuvimos que seleccionar un CBTL de acuerdo al contexto heterogéneo planteado, para, posteriormente, ser utilizado para unificar la información heterogénea en valoraciones lingüísticas 2-tupla en el CBTL.

Para realizar la elección de dicho conjunto, utilizamos el Algoritmo 1 para la elección de un CBTL presentando en la Sección 3.2.2.4. En este caso de estudio el Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL), \bar{S} , es el conjunto con nueve términos lingüísticos S^9 .

La información proporcionada por los diferentes colectivos (supervisores, colaboradores y clientes) fue unificada a información lingüística 2-tupla en \bar{S} mediante las Ecuaciones Ec. (3.9), Ec. (3.11), Ec. (3.13), Ec.(3.14) y Ec. (3.15) presentadas en el Capítulo 3.

En la Tabla 5.20 se muestra la información proporcionada por los evaluadores en la fase anterior, unificada en valores lingüísticos 2-tupla en \bar{S} .

Tabla 5.20: Valores unificados en el conjunto CBTL \bar{S} , de 9 términos.

	Y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^A	Y_1	(LAT, .3)	(LAT, -.5)	(PE, 0)	(MAT, .2)	(ME, -.4)	(AT, 0)	(NA, 0)
a_1^A	Y_2	(MAT, -.5)	(LAT, -.5)	(PE, 0)	(MAT, 0)	(BA, 0)	(AT, -.5)	(NA, 0)
a_2^D	Y_3	(PE, 0)	(PE, 0)	(ME, 0)	(AT, -.2)	(MBA, .4)	(MBA, .4)	(ME, 0)
a_2^D	Y_3	(MAT, .2)	(LAT, .4)	(BA, .2)	(LAT, -.4)	(MBA, -.4)	(BA, .2)	(LAT, -.4)
a_3^D	Y_3	(PE, 0)	(PE, 0)	(ME, 0)	(LAT, -.4)	(NA, 0)	(ME, 0)	(AT, -.2)
a_1^A	Y_4	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(AT, .4)	(BA, -.3)	(ME, 0)	(AT, .3)	(PE, -.5)
a_1^D	Y_4	(AT, .3)	(BA, -.3)	(AT, .3)	(BA, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
a_2^D	Y_4	(AT, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(PE, -.5)

Continúa en la siguiente página

5.4. Valoración global

Tabla 5.20 – Viene de la página anterior

	Y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇
a ₃ ^D	Y ₄	(MAT, -3)	(BA, -3)	(AT, 3)	(BA, -3)	(BA, -3)	(AT, 3)	(MAT, -3)
a ₁ ^{NAD}	Y ₄	(MAT, -3)	(AT, 3)	(ME, 0)	(BA, -3)	(AT, 3)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
a ₂ ^{NAD}	Y ₄	(PE, -5)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(AT, 3)
a ₃ ^{NAD}	Y ₄	(AT, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(AT, 3)	(MAT, -3)
b ₁ ^{NAS}	Y ₄	(MAT, 3)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(LAT, 0)
b ₂ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MAT, 3)
b ₃ ^{NAS}	Y ₄	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, 3)
b ₄ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(CNA, -3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
b ₅ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(CNA, -3)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)
b ₆ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
b ₇ ^{NAS}	Y ₄	(MAT, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, -3)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
b ₁ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(CNA, -3)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, 3)
b ₂ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, 3)
b ₃ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(CNA, -3)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MAT, 3)
b ₄ ^{NAS}	Y ₄	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(CNA, -3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, 3)
a ₁ ^D	Y ₅	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MAT, 3)
a ₁ ^D	Y ₅	(MAT, 3)	(MAT, 3)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
a ₂ ^D	Y ₅	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)
a ₃ ^D	Y ₅	(ME, 0)	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, 3)
a ₁ ^{NAD}	Y ₅	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(CNA, -3)	(CNA, -3)	(LAT, 0)
a ₂ ^{NAD}	Y ₅	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(CNA, -3)	(CNA, -3)	(MBA, 0)	(LAT, 0)
a ₃ ^{NAD}	Y ₅	(MBA, 0)	(CNA, -3)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(CNA, -3)	(CNA, -3)	(MAT, 3)
a ₁ ^D	Y ₆	(MAT, 0)	(MAT, 0)	(BA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
a ₂ ^D	Y ₆	(LAT, 0)	(MAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(LAT, 0)	(MAT, 0)
a ₃ ^D	Y ₆	(AT, 0)	(MAT, 0)	(BA, 0)	(BA, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(PE, 0)
a ₁ ^D	Y ₇	(MAT, -3)	(MAT, -3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
a ₁ ^D	Y ₇	(MAT, -3)	(ME, 0)	(MAT, -3)				
a ₂ ^D	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
a ₃ ^D	Y ₇	(MAT, -3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(MAT, -3)
a ₁ ^{NAD}	Y ₇	(MAT, -3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
a ₂ ^{NAD}	Y ₇	(ME, 0)						
a ₃ ^{NAD}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
b ₁ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(CNA, 3)	(MAT, -3)	(ME, 0)	(MAT, -3)
b ₂ ^{NAS}	Y ₇	(MAT, -3)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(ME, 0)
b ₃ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(MAT, -3)
b ₄ ^{NAS}	Y ₇	(MAT, -3)	(MAT, -3)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
b ₅ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
b ₆ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
b ₇ ^{NAS}	Y ₇	(MAT, -3)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
b ₁ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
b ₂ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(CNA, 3)	(MAT, -3)
b ₃ ^{NAS}	Y ₇	(MAT, -3)	(MAT, -3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
b ₄ ^{NAS}	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 3)	(CNA, 3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₁	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(MAT, -3)	(PE, -5)
c ₂	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₃	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₄	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
c ₅	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
c ₆	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
c ₇	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₈	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(ME, 0)
c ₉	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₁₀	Y ₇	(PE, -5)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
c ₁₁	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(MAT, -3)	(MAT, -3)
c ₁₂	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(PE, -5)	(ME, 0)
c ₁₃	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₁₄	Y ₇	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(ME, 0)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(MAT, -3)
c ₁₅	Y ₇	(ME, 0)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(CNA, 4)
c ₁₆	Y ₇	(MAT, -3)	(CNA, -5)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(MAT, -3)	(ME, 0)
c ₁₇	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(ME, 0)
c ₁₈	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(CNA, -5)
c ₁₉	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(ME, 0)
c ₂₀	Y ₇	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(CNA, -5)	(CNA, 4)	(CNA, 4)	(ME, 0)	(PE, -5)
a ₁ ^D	Y ₈	(PE, -5)	(MAT, -3)	(ME, 0)	(BA, -3)	(BA, -3)	(BA, -3)	(PE, -5)
a ₂ ^D	Y ₈	(AT, 3)	(AT, 3)	(BA, -3)	(BA, -3)	(ME, 0)	(CNA, -5)	(MAT, -3)
a ₃ ^D	Y ₈	(AT, 3)	(AT, 3)	(BA, -3)	(BA, -3)	(BA, -3)	(CNA, 3)	(PE, -5)

Continúa en la siguiente página

5. Caso de estudio

Tabla 5.20 – Viene de la página anterior

	Y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1^D	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(BA, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
a_2^D	Y_9	(BA, -.3)	(ME, 0)	(CNA, -.5)	(BA, -.3)	(AT, .3)	(ME, 0)	(AT, .3)
a_3^D	Y_9	(ME, 0)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(BA, -.3)	(AT, .3)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
a_1^{NAD}	Y_9	(ME, 0)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(AT, .3)
a_2^{NAD}	Y_9	(ME, 0)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(PE, -.5)
a_3^{NAD}	Y_9	(ME, 0)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)	(PE, -.5)
b_1^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
b_2^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
b_3^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
b_4^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
b_5^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)
b_6^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)
b_7^{AS}	Y_9	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
b_1^{NAS}	Y_9	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
b_2^{NAS}	Y_9	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)
b_3^{NAS}	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)
b_4^{NAS}	Y_9	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)
a_1^A	Y_{10}	(ME, 0)	(ME, 0)	(BA, -.3)	(CNA, -.5)	(CNA, -.5)	(CNA, .3)	(BA, -.3)
a_2^A	Y_{10}	(ME, 0)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, -.5)	(CNA, .3)	(BA, -.3)
a_3^A	Y_{10}	(ME, 0)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(CNA, -.5)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(BA, -.3)
a_1^{NAD}	Y_{10}	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, -.5)	(CNA, .3)	(BA, -.3)	(CNA, .3)
a_2^{NAD}	Y_{10}	(ME, 0)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(BA, -.3)
a_3^{NAD}	Y_{10}	(MAT, -.3)	(BA, -.3)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, -.5)	(BA, -.3)
b_1^{NAS}	Y_{10}	(AT, .3)	(CNA, -.5)	(BA, -.3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, -.5)	(BA, -.3)
b_2^{NAS}	Y_{10}	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)
b_3^{NAS}	Y_{10}	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)
b_4^{NAS}	Y_{10}	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
b_5^{NAS}	Y_{10}	(CNA, .3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
a_1^D	Y_{11}	(MAT, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, .3)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, .3)
a_2^D	Y_{11}	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
a_3^D	Y_{11}	(LAT, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, .3)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, .3)
a_1^{NAD}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
a_2^{NAD}	Y_{11}	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
a_3^{NAD}	Y_{11}	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(MAT, .3)
b_1^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(LAT, 0)
b_2^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
b_3^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(MAT, .3)
b_4^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
b_5^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
b_6^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
b_7^{AS}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
b_1^{NAS}	Y_{11}	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(LAT, 0)
b_2^{NAS}	Y_{11}	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)
b_3^{NAS}	Y_{11}	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(LAT, 0)
b_4^{NAS}	Y_{11}	(LAT, 0)	(MBA, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MBA, 0)	(MAT, .3)
c_1	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
c_2	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
c_3	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
c_4	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_5	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)
c_6	Y_{11}	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)
c_7	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_8	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)
c_9	Y_{11}	(ME, 0)						
c_{10}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)
c_{11}	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)
c_{12}	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_{13}	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_{14}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)
c_{15}	Y_{11}	(MAT, -.3)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_{16}	Y_{11}	(MAT, -.3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(ME, 0)	(ME, 0)	(MAT, -.3)
c_{17}	Y_{11}	(ME, 0)	(ME, 0)	(ME, 0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MAT, -.3)
c_{18}	Y_{11}	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)				
c_{19}	Y_{11}	(ME, 0)	(MAT, -.3)	(MAT, -.3)				
c_{20}	Y_{11}	(ME, 0)						

5.4. Valoración global

5.4.2. Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio

Antes de obtener una valoración global final, pasaremos por distintas etapas donde iremos obteniendo resultados intermedios que facilitarán información para la toma de decisiones en el departamento de Recursos Humanos.

En la primera etapa del proceso de valoración global es aplicado el operador de agregación *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla (ver Ec. (4.3)), el cual requiere de un vector de pesos para obtener la valoración global por colectivo para cada criterio.

En nuestro caso de estudio, el departamento de Recursos Humanos ha decidido usar el cuantificador “*Most*” con $(a, b) = (0.3, 0.8)$ (ver Ec. (4.4)) para obtener los pesos de los evaluadores por cada colectivo.

El resultado de aplicar el operador de agregación *OWA* para valoraciones lingüísticas 2-tupla con el cuantificador lingüístico “*Most*”, a las valoraciones unificadas de los evaluadores, da como resultado las evaluaciones globales por colectivo y criterio mostradas en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21: Valoraciones globales por colectivo para cada criterio

		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Y_1	A	(LAT, .3)	(LAT, -.5)	(PE, .0)	(MAT, .2)	(ME, -.4)	(AT, .0)	(NA, .0)
Y_2	A	(MAT, -.5)	(LAT, -.5)	(PE, .0)	(MAT, .0)	(BA, .0)	(AT, -.5)	(NA, .0)
Y_3	A	(PE, -.2)	(PE, -.4)	(ME, -.2)	(AT, .4)	(CNA, .2)	(BA, .0)	(AT, -.4)
Y_4	A	(LAT, .1)	(ME, -.2)	(AT, -.2)	(MBA, .1)	(ME, .0)	(AT, .2)	(MAT, -.4)
Y_4	B	(LAT, .0)	(ME, .3)	(ME, .3)	(CNA, .3)	(BA, .0)	(AT, -.4)	(MAT, -.3)
Y_5	A	(ME, .2)	(AT, -.3)	(BA, .1)	(BA, -.5)	(CNA, .4)	(MBA, .3)	(LAT, .3)
Y_6	A	(LAT, -.2)	(MAT, .0)	(BA, -.3)	(BA, -.2)	(LAT, .0)	(ME, .1)	(MAT, -.2)
Y_7	A	(AT, .4)	(ME, .0)	(ME, .0)	(BA, -.2)	(ME, .0)	(ME, .0)	(MAT, -.3)
Y_7	B	(AT, .3)	(ME, .0)	(BA, -.4)	(MBA, -.3)	(ME, .0)	(ME, -.5)	(MAT, -.3)
Y_7	C	(BA, .0)	(CNA, .3)	(CNA, -.5)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(AT, .1)	(LAT, .1)
Y_8	A	(LAT, -.5)	(LAT, -.5)	(BA, -.3)	(BA, -.4)	(BA, -.3)	(CNA, .2)	(MAT, .3)
Y_9	A	(ME, .0)	(BA, -.3)	(CNA, .4)	(MBA, .3)	(AT, -.4)	(LAT, .0)	(LAT, .4)
Y_9	B	(ME, .0)	(ME, .3)	(MBA, .2)	(CNA, .3)	(BA, -.4)	(CNA, .3)	(AT, .3)
Y_{10}	A	(ME, .0)	(BA, -.4)	(BA, -.4)	(CNA, .0)	(CNA, .2)	(CNA, .2)	(BA, -.4)
Y_{10}	B	(CNA, .3)	(ME, .0)	(CNA, .3)	(CNA, .3)	(MBA, .4)	(MBA, .4)	(AT, .1)
Y_{11}	A	(LAT, -.3)	(BA, .1)	(ME, .0)	(LAT, .3)	(ME, .0)	(AT, .1)	(MAT, .1)
Y_{11}	B	(AT, -.4)	(MBA, .3)	(BA, .3)	(ME, .3)	(BA, .0)	(BA, .3)	(LAT, .2)
Y_{11}	C	(AT, -.5)	(ME, .0)	(BA, .2)	(ME, .0)	(ME, .0)	(ME, .0)	(LAT, -.1)

5.4.3. Cálculo de las valoraciones globales para cada criterio

En la segunda etapa del proceso, se ha aplicado el operador de agregación lingüístico 2-tupla *Media Ponderada* (ver Ec. (4.7)), el cual requiere de un vector de pesos para realizar el proceso. Dicho vector fue definido por el departamento de Recursos Humanos atendiendo a los criterios evaluados y a los colectivos de evaluadores, el cual a continuación presentamos:

$$\begin{array}{ll}
 Y_1 : w_A = 1 & Y_2 : w_A = 1 \\
 Y_3 : w_A = 1 & Y_4 : w_A = 0.5 \quad w_B = 0.5 \\
 Y_5 : w_A = 1 & Y_5 : w_A = 1 \\
 Y_7 : w_A = 0.25 \quad w_B = 0.25 \quad w_C = 0.5 & Y_8 : w_A = 1 \\
 Y_9 : w_A = 0.75 \quad w_B = 0.25 & Y_{10} : w_A = 0.6 \quad w_B = 0.4 \\
 Y_{11} : w_A = 0.33 \quad w_B = 0.33 \quad w_C = 0.33 &
 \end{array}$$

Tabla 5.22: Pesos fijados para los criterios por el departamento de Recursos Humanos para los colectivos evaluadores

Los valores globales por criterio obtenidos con los pesos fijados anteriormente se muestran en la Tabla 5.23.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Y_1	(LAT, .3)	(LAT, -.5)	(PE, .0)	(MAT, .2)	(ME, -.4)	(AT, .0)	(NA, .0)
Y_2	(MAT, -.5)	(LAT, -.5)	(PE, .0)	(MAT, .0)	(BA, .0)	(AT, -.5)	(NA, .0)
Y_3	(PE, -.2)	(PE, -.4)	(ME, -.2)	(AT, .4)	(CNA, .2)	(BA, .0)	(AT, -.4)
Y_4	(LAT, 0)	(ME, 0)	(AT, -.5)	(MBA, -.3)	(ME, -.5)	(AT, -.1)	(MAT, -.4)
Y_5	(ME, .2)	(AT, -.3)	(BA, .1)	(BA, -.5)	(CNA, .4)	(MBA, .3)	(LAT, .3)
Y_6	(LAT, -.2)	(MAT, .0)	(BA, -.3)	(BA, -.2)	(LAT, .0)	(ME, .1)	(MAT, -.2)
Y_7	(ME, .3)	(BA, -.3)	(MBA, -.1)	(MBA, -.2)	(BA, -.3)	(ME, .4)	(LAT, .4)
Y_8	(LAT, -.5)	(LAT, -.5)	(BA, -.3)	(BA, -.4)	(BA, -.3)	(CNA, .2)	(MAT, .3)
Y_9	(ME, 0)	(BA, .1)	(MBA, -.4)	(MBA, 0)	(ME, .1)	(AT, -.2)	(LAT, .1)
Y_{10}	(BA, -.1)	(BA, .2)	(MBA, .1)	(CNA, .1)	(MBA, -.2)	(MBA, -.3)	(ME, -.4)
Y_{11}	(AT, -.1)	(BA, .1)	(ME, -.5)	(AT, -.2)	(ME, -.4)	(ME, .1)	(LAT, .3)

Tabla 5.23: Valoraciones globales por criterios usando los pesos fijados por el departamento de Recursos Humanos

5.4.4. Cálculo de la valoración global

En esta última etapa es calculada la valoración global para cada empleado, donde han sido considerados once criterios, presentando algunos de ellos dependencia. Por ello, para el cálculo de esta fase de valoración global consideraremos que la dependencia existen entre criterios dichos criterios, ya que es objetivo de esta memoria el tratamiento de la dependencia entre los distintos criterios planteados.

Cálculo de la valoración global asumiendo la dependencia entre criterios evaluados

Para calcular el valor global para cada empleado, considerando la interacción entre algunos criterios, es utilizado el operador de agregación *Integral de Choquet* discreta para valores lingüísticos 2-tupla [133], junto a las medidas difusas [124] de los criterios.

En nuestro caso de estudio, el departamento de Recursos Humanos proporcionó las interacciones entre los criterios, las cuales quedan reflejadas en las siguientes medidas difusas:

$$\begin{aligned} \mu(Y_1) &= 0.1 & \mu(Y_2) &= 0.1 & \mu(Y_1, Y_2) &= 0.43 & \mu(Y_3) &= 0.02 \\ \mu(Y_4) &= 0.02 & \mu(Y_5) &= 0.02 & \mu(Y_6) &= 0.1 & \mu(Y_7) &= 0.1 \\ \mu(Y_8) &= 0.02 & \mu(Y_6, Y_7, Y_8) &= 0.45 & \mu(Y_9) &= 0.02 & \mu(Y_{10}) &= 0.02 \\ \mu(Y_{11}) &= 0.02 \end{aligned}$$

$$\text{En otro caso: } \mu(R \cup T) = \max\{\mu(R) + \mu(T)\}, R, T \in 2^Y, R \cap T = \emptyset.$$

Podemos ver que las medidas difusas definidas, representan interacción positiva entre criterios, ya que:

$$\mu(Y_1 \cup Y_2) > \mu(Y_1) + \mu(Y_2) \text{ y } \mu(Y_6 \cup Y_7 \cup Y_8) > \mu(Y_6) + \mu(Y_7) + \mu(Y_8).$$

Por último, los valores globales para cada empleado son obtenidos, utilizando la *Integral de Choquet* discreta para valores lingüísticos 2-tupla (ver Ec.(4.10)), son los mostrados en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24: Valoración global para cada empleado teniendo en cuenta la dependencia entre los criterios

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
$(AT, .4)$	$(AT, -.5)$	$(AT, -.2)$	$(ME, .3)$	$(BA, .2)$	$(ME, -.44)$	$(ME, -.4)$

Revisión de resultados obtenidos y conclusiones

Por último, fueron revisados los resultados obtenidos para analizar qué empleado ha sido el mejor evaluado y extraer una serie de conclusiones.

En el caso de estudio que nos atañe, $(AT, .4) = (Alto, .4) \in \langle \bar{S} \rangle$ es el mejor resultado global, el cual corresponde al empleado x_1 . Por tanto, x_1 es el mejor empleado según la valoración global obtenida a partir de la información recopilada.

Con el objetivo de establecer un ranking total de empleados, las valoraciones globales son ordenadas de acuerdo a su magnitud en orden decreciente, obteniéndose el siguiente ranking de empleados:

$$x_1 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_4 \succ x_7 \succ x_6 \succ x_5.$$

En base a los resultados intermedios, puede establecerse un raking de empleados evaluados, por ejemplo considerando solo el criterio *Imagen personal*, Y_{11} . En dicho caso, el ranking de empleados evaluados atendiendo a tal criterio es el siguiente:

$$x_7 \succ x_1 \succ x_4 \succ x_6 \succ x_5 \succ x_3 \succ x_2.$$

Capítulo 6

Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

En este Capítulo, se va presentar una herramienta software que consiste en un sistema web denominado MSPE (Management System Performance Evaluation) para la gestión de procesos de evaluación del desempeño integral, con el propósito de llevar a cabo dichos procesos de una manera ágil y automatizada, ofreciendo gráficos sobre los resultados obtenidos de los empleados evaluados, los cuales faciliten la tarea de análisis por parte del departamento de Recursos Humanos.

6.1. Introducción

A lo largo de los años la importancia de los sistemas informáticos en la empresa ha sido cada vez más relevante. Hoy en día prácticamente el 100 % de las empresas dispone de equipamiento informático para el procesamiento de su información, pero no en todos los departamentos de las empresas han sido llevados a cabo la implantación de equipos y sistemas informáticos de la misma manera.

Realizando un análisis sobre las herramientas software para llevar a cabo procesos de evaluación de desempeño, se ha detectado que la mayoría de sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) como: SAP, SAGE, A3 o OPENBRAVO entre otros, no incorporan aplicaciones de evaluación del desempeño 360-grados

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

en sus módulos de recursos humanos que permitan trabajar con información heterogénea e integrar la posible dependencia entre criterios evaluados en caso de existir, ofreciendo resultados intermedios y finales lingüísticos.

En este Capítulo es presentado MSPE (Management System Performance Evaluation) una herramienta de gestión de procesos de evaluación del desempeño 360-grados. Dicho sistema implementa el modelo de evaluación del desempeño 360-grados para el tratamiento de información heterogénea teniendo en cuenta la posible dependencia de criterios, el cual es la propuesta principal de esta memoria de investigación.

Además, el sistema desarrollado también implementa el modelo de evaluación del desempeño integral con información lingüística expresada en múltiples escalas propuesto por de Andrés Calle, Espinilla y Martínez en [37], ya que proporciona precisión cuando la información implicada en el proceso de evaluación del desempeño está expresada únicamente en dominios lingüísticos. Dicho modelo, al igual que el modelo presentado en esta memoria de investigación, sigue el esquema de un proceso de evaluación del desempeño integral revisado en el Capítulo 4 e ilustrado en la Figura 4.1. El modelo que es llevado a cabo en el proceso de evaluación del desempeño integral es transparente al usuario y es seleccionado de acuerdo a la información involucrada en cada proceso considerado.

Cabe destacar que todos los resultados de los casos de estudio y ejemplos presentados a lo largo de esta memoria de investigación han sido obtenidos mediante el sistema implementado, así como los casos de estudio incluidos en los trabajos publicados fruto de la investigación llevada a cabo en esta memoria.

Para presentar el sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral, en primer lugar, mostraremos la arquitectura sobre la que está construido el sistema para, a continuación, presentar su funcionalidad a través de las diferentes fases involucradas en un proceso de evaluación del desempeño integral.

En la Figura 6.1 se ilustra la interfaz inicial que da acceso a la herramienta software para la gestión de procesos de evaluación del desempeño integral, la cual se encuentra accesible en la siguiente dirección web:

<http://sinbad2.ujaen.es/mspev3>

6.2. Arquitectura del sistema web MSPE

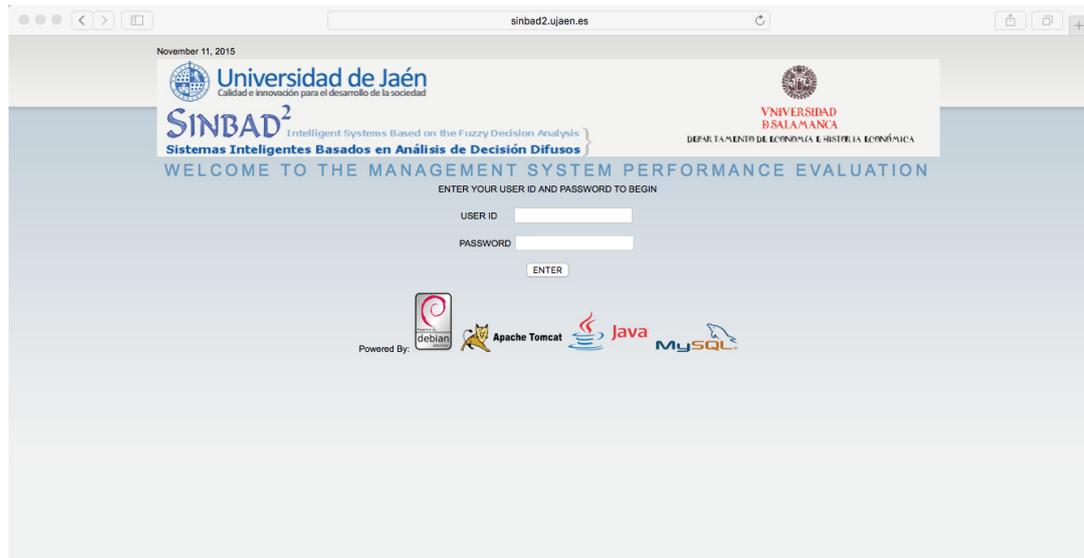


Figura 6.1: Panel del acceso del sistema web MSPE

6.2. Arquitectura del sistema web MSPE

Los procesos computacionales que son llevados a cabo en los procesos de evaluación del desempeño integral son elevados, ya que el volumen de información recogida es considerable y sobre ella son realizados diversos cálculos hasta obtener una valoración final de los empleados evaluados. Por dicho motivo, la arquitectura software escogida para el desarrollo del sistema web para gestionar procesos de evaluación del desempeño integral, está basada en un modelo cliente/servidor.

El modelo cliente/servidor proporciona usabilidad, flexibilidad, interoperabilidad y escalabilidad en las comunicaciones. Dicho término, cliente/servidor, fue acuñado por primera vez en 1980 para referirse a las primeras computadoras personales conectadas en red.

Desde el punto de vista funcional, el modelo cliente/servidor está basado en una arquitectura distribuida que permite a los usuarios finales, clientes, obtener acceso a la información de forma transparente en entornos multiplataforma. Para

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño *integral*

ello, los clientes realizan las peticiones a una máquina servidor y ésta atiende las peticiones de información que le son realizadas [122]. En la Figura 6.2 se muestra gráficamente la arquitectura cliente/servidor.

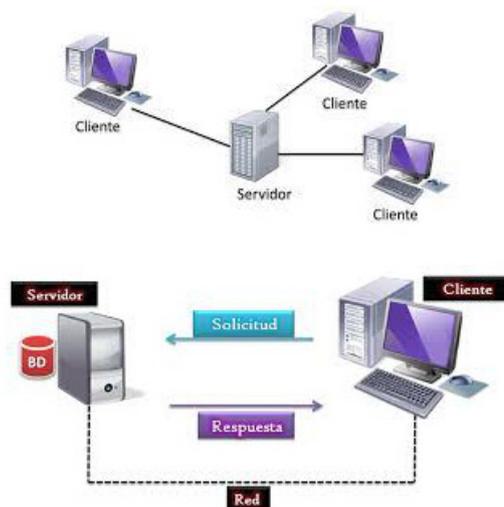


Figura 6.2: Arquitectura cliente-servidor

La arquitectura cliente/servidor presenta la ventaja principal de que la carga computacional no recae en la computadora del cliente, sino que recae en la parte del servidor. Así, los procesos computacionales son realizados únicamente en el servidor, el cual suele tener elevada potencia de cálculo. Por la parte del cliente, éste solo llevará a cabo las peticiones al servidor y la obtención de la información requerida, la cual es computada y suministrada por el servidor. Por tanto, la máquina servidor es la que alberga los datos y vela por su seguridad e integridad [122].

En nuestro caso, el sistema web se encuentra instalado en el servidor del grupo de investigación *Sinbad*² de la Universidad de Jaén, el cual tiene como sistema operativo de servidor Debian¹ 7 Linux, el cual es un sistema operativo de código libre. En boca de muchos expertos es una de las distribuciones para servidores más estables y más extendida en el planeta, lo cual nos proporciona confianza y eficiencia a la hora de desarrollar nuestro sistema. Además, se ha utilizado un

¹<http://www.debian.org>

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

servidor web Apache Tomcat 7 y una base de datos MySQL que permite la gestión de bases de datos relacionales, multihilo y multiusuario.

La funcionalidad del sistema ha sido programada mediante el lenguaje Java, en concreto con JavaServer Pages (JSP) que es una tecnología que ayuda a los desarrolladores de software a crear páginas web dinámicas basadas en Java, HTML, XML, entre otros tipos de documentos. Actualmente, JSP es mantenido por Oracle Corporation², aunque inicialmente fue creado por Sun Microsystems.

La interfaz para que los clientes realicen las peticiones y reciban la información requerida ha sido realizada con HyperText Markup Language (HTML), el cual hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web. Dicho lenguaje es un estándar para la elaboración de páginas web, definiendo una estructura básica con múltiples códigos para la definición de los contenidos de una página web como son los textos, las imágenes o las tablas. HTML es un estándar a cargo de la W3C³, organización dedicada a la estandarización de casi todas las tecnologías ligadas a la web, sobre todo en lo referente a su escritura e interpretación.

Una vez descrita la arquitectura sobre la que está implementado nuestro sistema web para la gestión de procesos de evaluación del desempeño integral, se va a describir la funcionalidad del mismo.

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

El sistema web MSPE permite gestionar procesos de evaluación del desempeño 360-grados contando con toda la funcionalidad necesaria para realizar dichos procesos. Dicha funcionalidad engloba desde la creación de usuarios para los miembros de un departamento de una empresa, hasta la visualización de las valoraciones globales por parte de los miembros del departamento de Recursos Humanos.

Es importante destacar que han sido definidos dos roles en el sistema web para llevar a cabo la funcionalidad necesaria. A continuación, son descritos los dos roles en el sistema:

²<http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/jsp/index.html>

³<http://www.w3c.es>

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

- *Trabajador.* Un usuario dado de alta en el sistema con este rol puede ser implicado en un proceso de evaluación del desempeño tanto como evaluador (persona que evalúa a otro trabajador) como evaluado (persona que es evaluada por otros trabajadores). Un usuario con el rol de trabajador debe tener asociado el departamento al que pertenece y su categoría dentro de dicho departamento. Dentro del sistema, un usuario con el rol de trabajador tan solo tendrá permisos para proporcionar las evaluaciones sobre otro trabajador y visualizarlas posteriormente.
- *Administrador.* Un usuario dado de alta en el sistema con este rol puede gestionar los procesos de evaluación de desempeño dentro de la empresa, implicando esto, la definición de los criterios que van a ser evaluados, las personas evaluadas, la obtención de resultados, categorías, etc.

El proceso de evaluación del desempeño integral en el sistema sigue el esquema del proceso revisado en el Capítulo 4 e ilustrado en la Figura 4.1. Para describir la funcionalidad del sistema seguiremos cada una de las fases a la hora de llevar a cabo un proceso de evaluación del desempeño integral en un departamento en una compañía. Para ello, vamos a asumir que previamente un usuario administrador ha registrado las categorías y departamentos de la compañía y que también ha registrado a sus trabajadores, indicando su categoría y departamento. Como se ha comentado anteriormente el sistema MSPE tiene implementada tal funcionalidad.

A continuación son revisadas las tres fases del proceso de evaluación del desempeño 360-grados. En primer lugar mostraremos cómo es fijado el marco de evaluación utilizando el sistema web MSPE. Una vez definido dicho marco, se muestra la recolección de la información de los evaluadores que se realizará a través de encuestas on-line y, finalmente, se ilustra cómo es obtenida la valoración global de cada empleado evaluado.

6.3.1. Definición del marco de evaluación en el sistema web MSPE

La fase de definición del marco de evaluación implica llevar a cabo un conjunto de tareas que tienen que ser realizadas por un usuario con el rol

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

administrador. Por tanto, el primer paso es que el usuario responsable del proceso de evaluación del desempeño con dicho rol acceda al sistema, apareciéndole la interfaz inicial reflejada en la Figura 6.3.



Figura 6.3: Panel de gestión de los usuarios con el rol administrador

Las tareas implicadas en la definición del marco de evaluación, las cuales están brevemente resumidas a continuación, son las siguientes:

- *Definir criterios y dominios de expresión por colectivos.* Definir los criterios a evaluar y los dominios de expresión que serán utilizados por cada colectivo para valorar tales criterios.
- *Definir encuestas de evaluación.* Definir una encuesta de evaluación donde se indiquen los criterios a evaluar con dicha encuesta.
- *Definir evaluaciones del desempeño 360-grados.* Cada evaluación implica definir los trabajadores que van a ser evaluados, los colectivos evaluadores y, finalmente, la encuesta que está asociada con dicho proceso para recoger la información de los empleados evaluados.

Para ilustrar la definición del marco de evaluación a través del sistema MSPE, se describen dichas tareas con mayor detalle.

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño *integral*

Definir criterios y dominios de expresión por colectivos

La evaluación de desempeño se realiza mediante encuestas online que serán completadas por los colectivos evaluadores. Cada encuesta incluye los criterios que van a ser evaluados y los dominios de expresión utilizados para valorar cada uno de esos criterios por cada uno de los colectivos de evaluadores.

La definición de un criterio implica indicar el título del criterio y definir, para cada colectivo, el dominio de expresión que será utilizado para valorar dicho criterio. Además, cada uno de los criterios puede ser definido como un criterio de coste o un criterio de beneficio. El sistema facilita los siguientes dominios de expresión para ser asignados a cada criterio: dominios numéricos, dominios intervalares y dominios lingüísticos. Un usuario con el rol administrador puede crear, borrar, editar y consultar criterios en el sistema. La Figura 6.4 muestra la interfaz de creación de un criterio y la elección del dominio de expresión para el colectivo supervisor.

Collective	Level	Scale	Add Collective/Level/Scale
SUPERVISOR	0	✓ S3 S5 S7 S9 S13	Add

Collective	Level	Scale	Action
------------	-------	-------	--------

Figura 6.4: Panel para la definición de un criterio asociado a un dominio lingüístico

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

Definir encuestas de evaluación

Una encuesta de evaluación incluye un conjunto de criterios a valorar. Así, la definición de una encuesta implica seleccionar un conjunto de criterios adecuados que hayan sido previamente definidos en el sistema y que serán valorados en un proceso de evaluación del desempeño integral que tenga asociada la encuesta que está siendo definida. Por tanto, cada encuesta incluye un conjunto de criterios que van a ser evaluados y el dominio de expresión por colectivo para valorar cada uno de los criterios implicados. Dichos dominios de expresión fueron definidos al crear los criterios que van a ser seleccionados en la encuesta.

Para identificar las encuestas creadas, el sistema permite asignar un título a cada encuesta en el momento de su creación. Un usuario con el rol de administrador puede crear, borrar, editar y consultar encuestas en el sistema. La Figura 6.5 muestra la interfaz principal para gestionar las encuestas en el sistema.

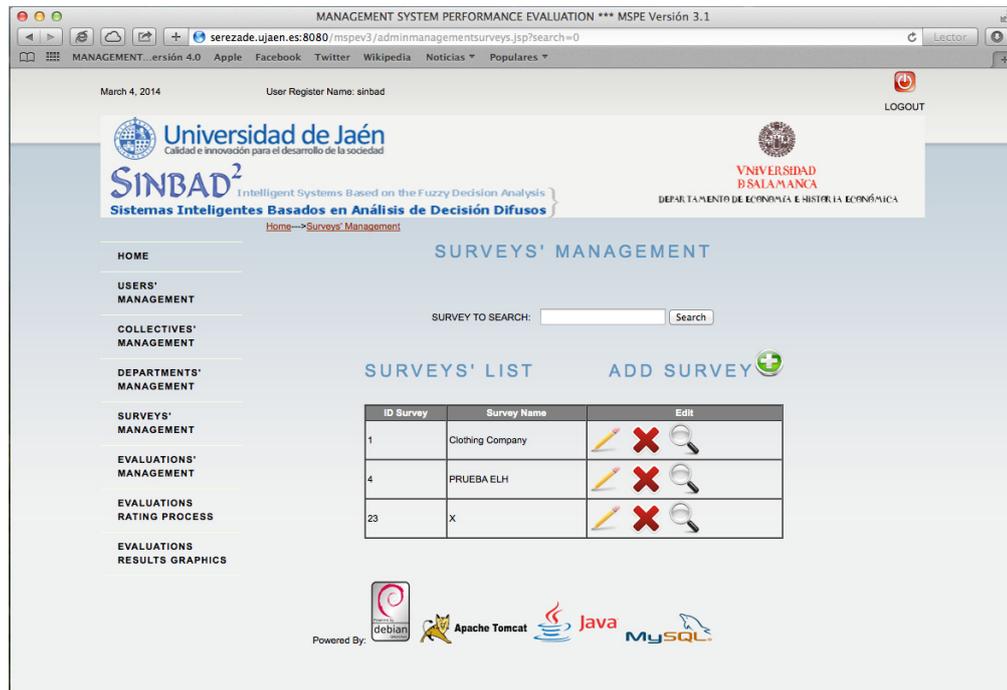


Figura 6.5: Panel para la gestión de encuestas

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño *integral*

Definir evaluaciones del desempeño 360-grados.

La definición de una evaluación implica obligatoriamente dos actividades. En primer lugar, asociar el conjunto de empleados que van a ser evaluados y el conjunto de evaluadores que van a proporcionar la evaluación. En segundo lugar, es necesario asociar a la evaluación la encuesta que recoge los criterios que van a ser evaluados.

Aunque no es obligatorio, puede ser definida una fecha límite para completar la encuesta por parte de los evaluadores en la definición de una evaluación del desempeño 360-grados. Una vez superada dicha fecha, los evaluadores no podrán proporcionar sus evaluaciones sobre los empleados a evaluar. En la Figura 6.6 se muestra la definición de una evaluación a través del sistema MSPE.

The screenshot shows a web interface for adding a new evaluation. At the top, there is a header with the text 'Intelligent Systems Based on the Fuzzy Decision Analysis' and 's Basados en Análisis de Decisión Difusos'. Below the header, there is a navigation path: 'Home-->Evaluations' Management -->Add Evaluations'. The main content area is titled 'ADD NEW EVALUATION'. It contains several form fields: 'SELECT EVALUATION TYPE' with a dropdown menu set to 'PERFORMANCE'; 'EVALUATION NAME' with a text input field containing 'CK123'; 'DEADLINE:' with a date picker showing 'Mar 4 2014'; 'SELECT SURVEY' with a dropdown menu set to 'Clothing Company'; and 'SELECT THE DEPARTMENT THAT YOU WANT TO EVALUATE' with a dropdown menu set to 'VENTAS'. Below these fields, there is a 'Next' button and a 'BACK' button with a blue arrow pointing left.

Figura 6.6: Panel para la definición de una evaluación

Cabe destacar que una evaluación tiene asociados dos estados: abierta y cerrada. Una evaluación abierta implica que el proceso de evaluación del desempeño se encuentra en la fase de recopilación de la información, es decir, los evaluadores pueden proporcionar las evaluaciones sobre los empleados a evaluar. Una evaluación cerrada implica que el proceso de evaluación ha finalizado su fase de recopilación de la información y actualmente tal proceso de evaluación se

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

encuentra en la fase de valoración global de los empleados.

Para identificar los procesos de evaluación del desempeño 360-grados creados, el sistema permite asignar un título a cada proceso. Así, un usuario con el rol administrador puede gestionar procesos de evaluación, permitiéndole el sistema crear, editar, borrar y consultar evaluaciones. En la Figura 6.7 podemos ver la interfaz principal de gestión de evaluaciones del sistema MSPE.

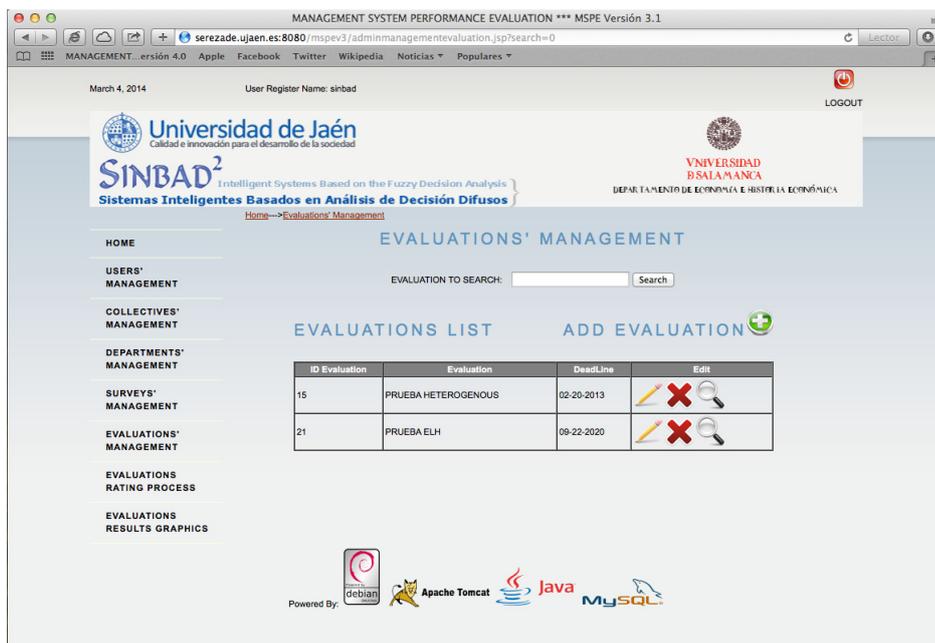


Figura 6.7: Panel de gestión de evaluaciones

Para facilitar la selección de evaluadores, cuando se seleccionan los trabajadores que serán evaluados en la creación de un proceso de evaluación, el sistema selecciona los evaluadores en función del departamento del empleado evaluado de forma automática. Esta funcionalidad ha sido implementada en el sistema con el fin de evitar la tediosa tarea de seleccionar manualmente los evaluadores implicados en un proceso de evaluación. Debido a que dicha selección automática puede no ser adecuada al completo en algunos casos, el sistema permite la edición de los evaluadores, añadiendo nuevos evaluadores o eliminando los evaluadores asociados automáticamente. La Figura 6.8 muestra un ejemplo de asignación de evaluadores.

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

UNIVERSIDAD BSALAMANCA
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA E HISTORIA ECONÓMICA

Intelligent Systems Based on the Fuzzy Decision Analysis
Sistemas Basados en Análisis de Decisión Difusos
Home → Evaluations Management → Add Evaluations

ADD NEW EVALUATION

SELECT EVALUATION TYPE: PERFORMANCE

EVALUATION NAME: CK123

DEADLINE: Mar 4 2014

SELECT SURVEY: Clothing Company

DEPARTMENT TO EVALUATE: VENTAS

SELECT THE WORKERS TO EVALUATE

WORKER ID	WORKER NAME	SELECTION
A1A	A1A	<input type="checkbox"/>
A1D	A1D	<input type="checkbox"/>
A1ND	A1ND	<input type="checkbox"/>
A2D	A2D	<input type="checkbox"/>
A2ND	A2ND	<input type="checkbox"/>
A3D	A3D	<input type="checkbox"/>
A3ND	A3ND	<input type="checkbox"/>
B1NS	B1NS	<input type="checkbox"/>
B1S	B1S	<input type="checkbox"/>
B2NS	B2NS	<input type="checkbox"/>
B2S	B2S	<input type="checkbox"/>

Figura 6.8: Panel para la asignación de evaluadores

6.3.2. Recolección de la información en el sistema web MSPE

La fase de recolección de la información implica que los evaluadores completen las encuestas que tienen asociadas sobre los empleados a evaluar. Al entrar un usuario con el rol trabajador al sistema MSPE se le visualizarán el conjunto de evaluaciones asignadas, tal y como se ilustra en la Figura 6.9.

MANAGEMENT SYSTEM PERFORMANCE EVALUATION *** MSPE Versión 3.2

September 6, 2014 User Register Name: A1A

Universidad de Jaén
SINBAD²
Sistemas Inteligentes Basados en Análisis de Decisión Difusos

UNIVERSIDAD BSALAMANCA
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA E HISTORIA ECONÓMICA

LIST OF USER PERFORMANCE EVALUATIONS

EVALUATION NAME	DEADLINE	STATE
PRUEBA HETEROGENEOUS B7S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B6S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B5S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B4S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B3S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B2S	20-20-2020	COMPLETED
PRUEBA HETEROGENEOUS B1S	20-20-2020	COMPLETED

Powered By: PHP, Apache Tomcat, Java, MySQL

Figura 6.9: Panel con las evaluaciones asociadas a un empleado

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

Cuando un usuario con el rol trabajador accede a una evaluación abierta, es decir, la evaluación se encuentra en fase de recopilación de la información, se visualiza el empleado que tiene que evaluar, los criterios a valorar y el dominio de expresión a utilizar para valorar cada criterio. El dominio de expresión mostrado estará en función de la relación que tenga el evaluado con el evaluador, es decir, en función del colectivo evaluador. La Figura 6.10 muestra el conjunto de criterios a valorar de un empleado.

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost:8080/mspev3/scoreevaluation.jsp?id=15&evaluated=875`. The page header includes the date "September 6, 2014" and the user name "User Register Name: A1A". The main content area features the logo of "Universidad de Jaén" and "SINBAD² Sistemas Inteligentes Basados en Análisis de Decisión Difusos". The evaluation title is "EVALUATION: PRUEBA HETEROGENOUS EVALUATED: B7S". The form contains the following elements:

- Productivity:** Input field with value 133.0, range MAX=133.0 MIN=104.0.
- Level of Sale:** Input field with value 34.0, range MAX=34.0 MIN=18.0.
- Identification with the company:** Dropdown menu set to PERFECT.
- Training interest:** Dropdown menu set to PERFECT.
- Customers service:** Dropdown menu set to PERFECT.
- To serve as an example:** Dropdown menu set to LOW.
- Personal image:** Dropdown menu set to PERFECT.

At the bottom of the form, there is a "Save" button and a "BACK" button with a left-pointing arrow.

Figura 6.10: Panel para la recopilación de información de un empleado

Mientras la evaluación se encuentre en estado abierto, las valoraciones sobre los criterios implicados en la encuesta de dicha evaluación pueden ser añadidas, en caso de ser la primera vez que se evalúan, o modificadas en caso de que se haya introducido previamente una valoración.

Una vez finalizada la fase de recopilación de la información de una evaluación, es decir, la evaluación esté cerrada, el usuario con rol trabajador tan solo podrá visualizar las valoraciones que proporcionó en dicha evaluación para cada criterio de cada evaluado asignado.

6.3.3. Valoración global en el sistema web MSPE

La fase de valoración global implica llevar a cabo una serie de cálculos para obtener evaluaciones intermedias y finales sobre el conjunto de empleados evaluados, por lo que es necesario seleccionar operadores de agregación para fusionar las valoraciones recopiladas.

Una de las grandes ventajas del sistema MSPE es que dichos cálculos se realizan de manera automática, facilitando las evaluaciones intermedias y finales de manera inmediata. Además para facilitar la comprensión de las evaluaciones de los empleados implicados en una evaluación, dichas evaluaciones pueden ser mostradas en gráficas comparativas.

Un proceso de evaluación se encontrará en fase de valoración global, cuando su etapa de recopilación de información haya finalizado, ya sea porque la fecha límite para recabar la información de la evaluación ha sido alcanzada o por decisión de un usuario con el rol de administrador.

Siguiendo el esquema de un proceso de evaluación del desempeño integral (ver Figura 4.1), tres valoraciones globales son calculadas en la última fase:

- Cálculo de las valoraciones globales por colectivo para cada criterio
- Cálculo de las valoraciones globales para cada criterio
- Cálculo de la valoración global

Para calcular tales valoraciones, es necesario que un usuario con el rol administrador entre al sistema, seleccione la evaluación cerrada de la que desea obtener la valoración global y proporcione los operadores de agregación que serán utilizados para computar dichas valoraciones globales.

El conjunto de operadores de agregación disponibles para ser utilizado en el sistema MSPE son los siguientes: *OWA*, *Media Aritmética*, *Media Ponderada*, *Mediana*, *Integral de Choquet*, *Máximo* y *Mínimo*.

En la Figura 6.11 se ilustra la selección de operadores de agregación para la obtención de valoraciones intermedias y finales para el conjunto de empleados evaluados en la evaluación seleccionada. En función de los objetivos fijados por el departamento de Recursos Humanos se seleccionará un operador de agregación u otro.

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

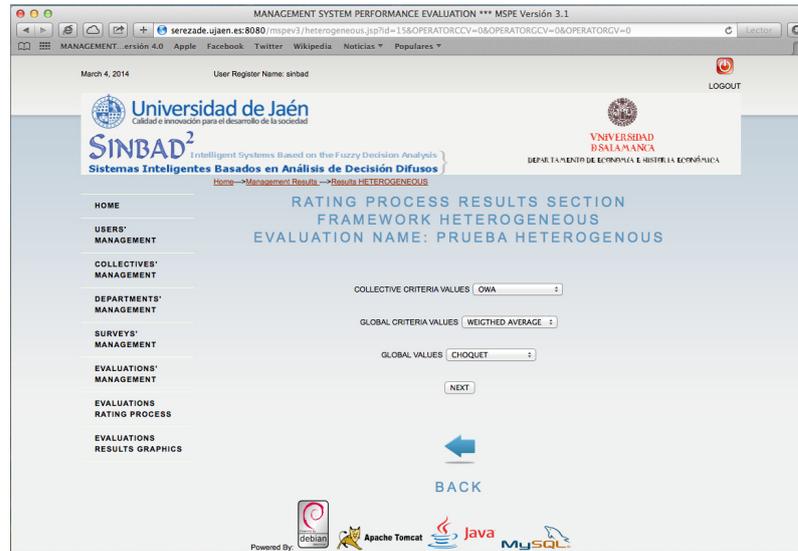


Figura 6.11: Panel para la elección de operadores de agregación en el cálculo de las valoraciones globales

Dado que los criterios involucrados en un proceso de evaluación pueden ser dependientes, para el cálculo de la valoración global del empleado, donde las valoraciones globales por criterios son agregadas, el operador de agregación basado en la Integral de Choquet se encuentra también disponible.

Dependiendo de las características del operador de agregación seleccionado, será necesario o no proporcionar más información. Así, por ejemplo, cuando la Integral de Choquet es seleccionada, el conjunto de medidas difusas es requerido, el cual representa la interacción de los criterios involucrados. Otro ejemplo es el operador de agregación *OWA* que requiere de un vector de pesos, el cual puede ser calculado de manera automática por el sistema MSPE, seleccionando un cuantificador lingüístico [128] (ver Definición 16).

Una vez que los operadores de agregación han sido seleccionados y la información requerida, en caso de ser necesaria, ha sido proporcionada, el sistema MSPE muestra los resultados intermedios y finales obtenidos en un dominio lingüístico, el cual es fácilmente interpretable.

En la Figura 6.12 se muestra un ejemplo donde la información necesaria para utilizar los operadores de agregación *OWA* e Integral de Choquet es requerida.

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

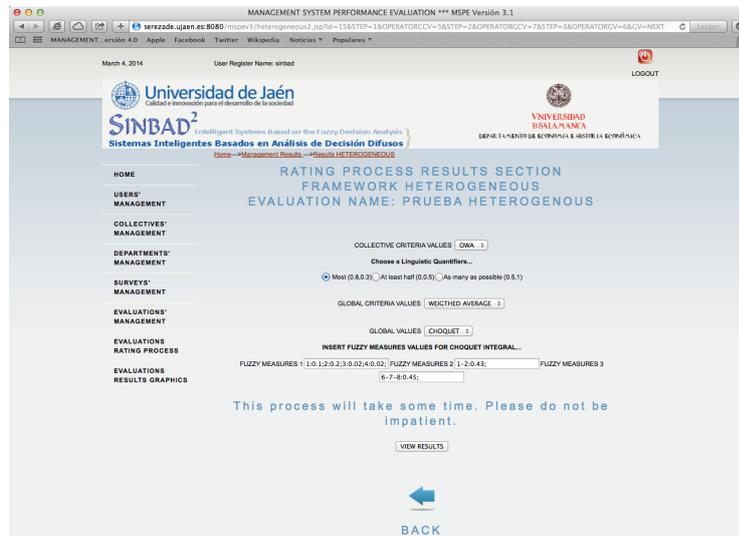


Figura 6.12: Panel para recoger la información requerida para calcular las valoraciones intermedias y finales

MSPE ejecuta el cálculo de las valoraciones con los operadores de agregación seleccionados y en primer lugar MSPE muestra todas las valoraciones globales por colectivo y criterio, tal y como se ilustra en la Figura 6.13, donde los resultados están expresados en una dominio lingüístico de nueve términos.

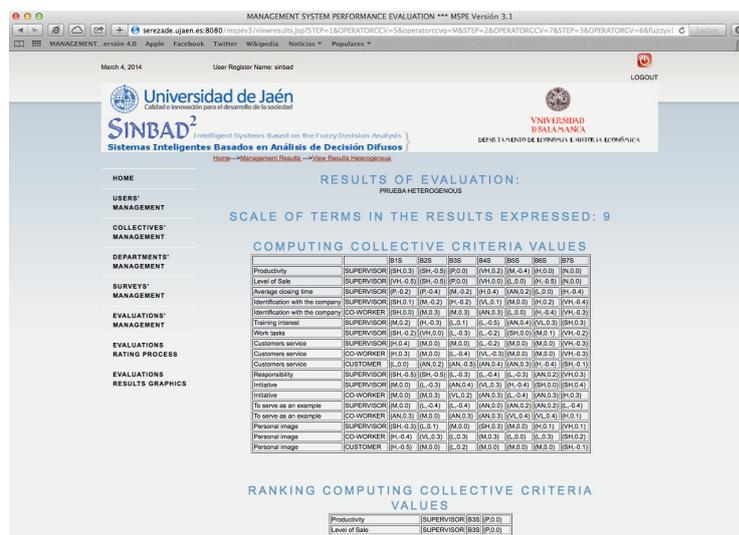


Figura 6.13: Panel con las valoraciones globales por criterio y por colectivo

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

En segundo lugar se muestran todas las valoraciones globales por criterio, mostrando también el mejor empleado por cada criterio evaluado. Finalmente, y de forma similar, se muestran las valoraciones globales obtenidas por cada evaluado. La Figura 6.14 muestra un ejemplo de valoraciones computadas, tanto de valoraciones globales por criterio como de valoraciones globales.

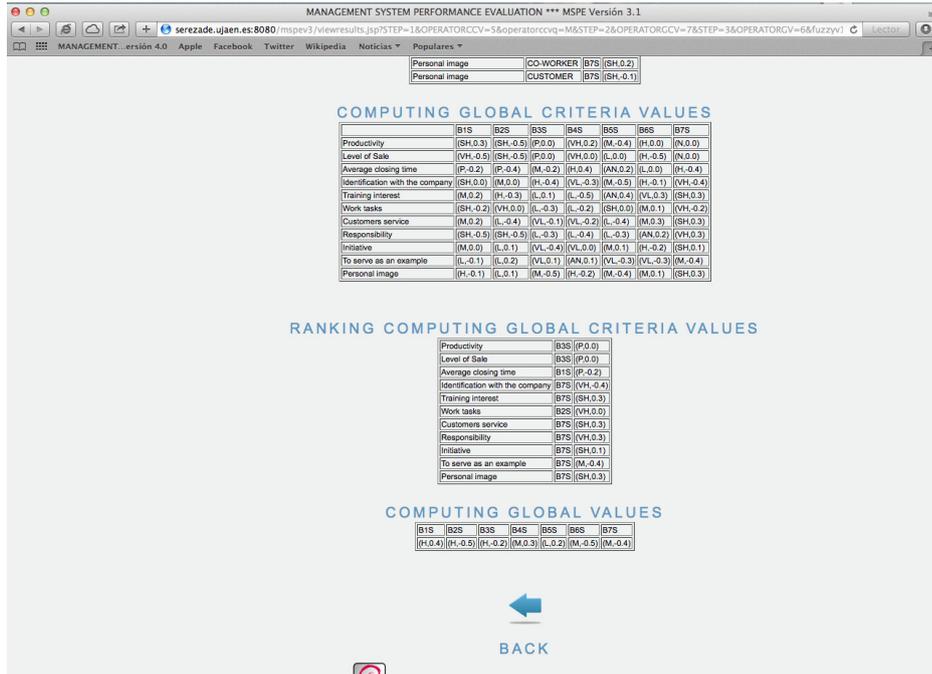


Figura 6.14: Panel con las valoraciones globales por criterio y finales

Por último, indicar que otras de las grandes ventajas del sistema MSPE es que éste proporciona gráficos para ilustrar las valoraciones intermedias y finales. Para ello, el usuario con rol de administrador selecciona la valoración que desea visualizar a través de gráficos y seguidamente irá siguiendo los mismos pasos anteriormente descritos para realizar el proceso de valoraciones intermedias y finales, para finalmente obtener un gráfico resumen de la valoración. Una vez seleccionada la opción de visualización de resultados gráficos, en primer lugar, se seleccionarán los operadores de agregación que desea utilizar para la obtención de resultados, tal y como vimos en la Figura 6.11. Después de seleccionar los operadores adecuados, el sistema mostrará los resultados mediante un gráfico, además de en valoraciones lingüísticas 2-tupla. Actualmente el sistema solamente

6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño integral

cuenta con gráficos de tipo barras.

En la Figura 6.15 se muestra la selección del valor global que se desea visualizar a través de un gráfico.

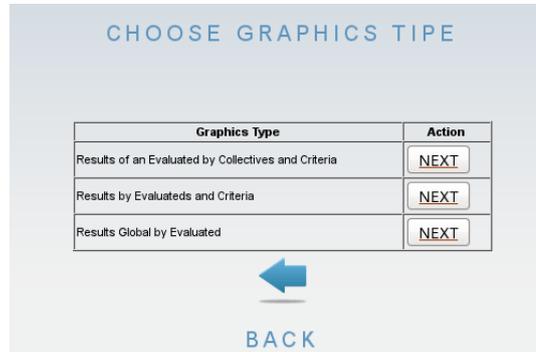


Figura 6.15: Panel para la selección de valores globales a través de gráficos

La Figura 6.16 muestra dichas valoraciones globales a través de un gráfico comparativo.

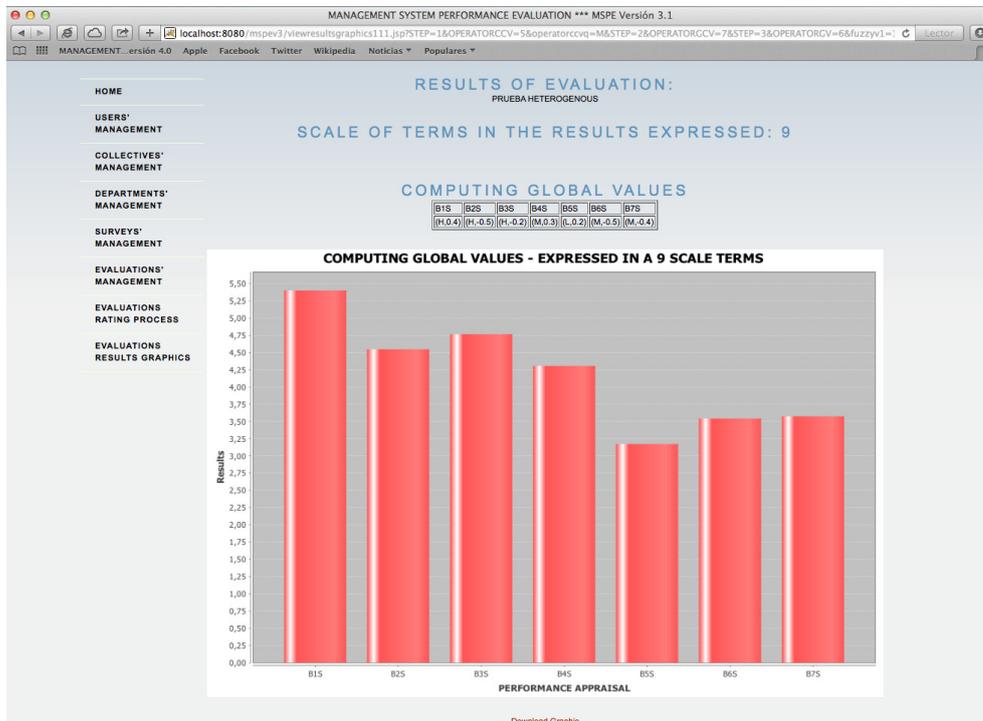


Figura 6.16: Panel con las valoraciones globales mostradas a través de gráficos

6.3. Funcionalidad del sistema web MSPE

Para finalizar podemos concluir que el sistema MSPE desarrollado es una herramienta que permite automatizar y agilizar los procesos de evaluación del desempeño integral a la vez que facilita ciertas tareas como la recogida de información de forma distribuida y el análisis de resultados a través de gráficos.

**6. Sistema web para gestión de procesos de evaluación del desempeño
integral**

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

En este Capítulo vamos concluir esta memoria de investigación destacando sus principales propuestas teóricas y resultados obtenidos. Además, propondremos cuales serán nuestras líneas de investigación y trabajos futuros a partir de los resultados obtenidos. Finalmente, presentaremos una lista con las publicaciones obtenidas de la investigación llevada a cabo en la presente memoria.

7.1. Conclusiones

Hoy en día la evaluación del desempeño se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar los procesos productivos y optimización de recursos en las empresas. Los procesos de evaluación del desempeño actuales tienen ciertas carencias, las cuales fueron la motivación que nos llevó a plantearnos la realización de esta memoria de investigación. Al comienzo de la misma, nos fijamos una serie de objetivos que a lo largo de ésta hemos ido alcanzando para cubrir dichas carencias.

Entre los objetivos planteados se encontraba la propuesta de un modelo de evaluación del desempeño 360-grados el cual permitiera a los evaluadores expresar su conocimiento en diferentes dominios de expresión adaptados a su conocimiento y a la diferente naturaleza de los criterios de evaluación (objetivos y subjetivos), pretendiendo que dicho modelo mejorara la interpretación de resultados intermedios y finales. La existencia de información heterogénea en los procesos de evaluación del desempeño implicaba la necesidad de utilizar

modelos que nos permitan manipular dicha información. En esta memoria de investigación, hemos realizado un riguroso estudio de diferentes modelos para tratar con información heterogénea. Después de llevar a cabo dicho estudio, hemos concluido que el modelo de tratamiento de información heterogénea basado en la unificación de dicha información en valores lingüísticos 2-tupla [72], es el adecuado para nuestro objetivo, ya que ofrece la posibilidad de utilizar diferentes dominios de expresión: numéricos, intervalares y lingüísticos y, además, unifica la información heterogénea en información lingüística 2-tupla [69], la cual facilita la interpretación de los resultados.

El siguiente objetivo que nos planteamos era estudiar el proceso de agregación de las valoraciones cuando existe dependencia entre los criterios evaluados. Así, hemos propuesto el uso de medidas difusas [116] para representar la interacción de los criterios evaluados y el uso de la Integral de Choquet [34] para agregar las valoraciones de tales criterios para un empleado. Dado que las valoraciones que manejamos están expresadas mediante valores lingüísticos 2-tupla, hemos utilizado la Integral de Choquet discreta 2-tupla [133] para agregar valoraciones lingüísticas 2-tupla, la cual proporciona también valores lingüísticos 2-tupla que son fácilmente interpretables.

Por tanto, en esta memoria de investigación, hemos propuesto un nuevo modelo de evaluación del desempeño 360-grados capaz de manejar información heterogénea, el cual puede considerar la posible dependencia de criterios, facilitando la interpretación de resultados intermedios y finales a los miembros del departamentos de Recursos Humanos y proporcionando unas valoraciones intermedias y finales en un dominio lingüístico.

Para comprobar el funcionamiento del modelo presentado, hemos realizado un caso de estudio real donde se ilustra un proceso de evaluación del desempeño integral en una multinacional textil. En dicho caso de estudio, las valoraciones de los criterios a evaluar han sido proporcionadas en diferentes dominios de expresión, estando algunos de los criterios evaluados en el caso de estudio relacionados entre sí. El modelo propuesto en esta memoria ha permitido manejar la información heterogénea y la dependencia de criterios, ofreciendo resultados intermedios y finales lingüísticos.

Finalmente, como último objetivo que nos planteábamos, hemos desarrollado una sistema web denominado MSPE (Management System Performance Evalua-

7.2. Trabajos futuros

tion) para gestionar procesos de evaluación del desempeño 360-grados de una manera ágil y automatizada, ofreciendo gráficos sobre los resultados obtenidos de los empleados evaluados, los cuales facilitan la tarea de análisis.

Como se puede observar, todos los objetivos que perseguíamos al inicio de esta memoria de investigación han sido alcanzados mediante todas las propuestas teóricas y prácticas presentadas en esta memoria.

7.2. Trabajos futuros

Debido a que cada día son más las empresas que comienzan a implantar los procesos de evaluación del desempeño 360-grados, nuestros trabajos futuros se orientan en las siguientes áreas de investigación:

- Estudiar las necesidades de los procesos de evaluación del desempeño integral para incrementar el número de operadores de agregación y así poder obtener adecuados resultados intermedios y finales de los empleados evaluados.
- Estudiar las necesidades de los procesos de evaluación del desempeño integral para incrementar el número de gráficos existentes en la aplicación para facilitar el análisis de la evaluación y facilitar la toma de decisiones al departamento de Recursos Humanos.
- Desplegar el sistema web que es presentado en este memoria de investigación en un entorno real para realizar procesos de evaluación del desempeño 360-grados.
- Desarrollar una aplicación móvil que permita a los evaluadores realizar sus evaluaciones desde un dispositivo móvil en cualquier momento y en cualquier lugar.

7.3. Publicaciones relacionadas con la tesis doctoral

Para finalizar esta memoria de investigación, presentamos la serie de publicaciones realizadas durante la elaboración de esta memoria tesis.

En Revistas Internacionales:

M. Espinilla, R. de Andrés Calle, F. J. Martínez, L. Martínez, *A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria*. Information Sciences, vol. 222, pp. 459-471, 2013.

En Libros:

M. Espinilla, R. de Andrés Calle, F. J. Martínez, L. Martínez, *A Heterogeneous Evaluation Model for the Assessment of Sustainable Energy Policies*. P. Melo-Pinto et al. (Eds.), Eurofuse 2011. Advances in Intelligent and Soft Computing, Springer, vol. 107, pp. 209-220

En congresos Internacionales:

M. Espinilla, F. J. Martínez F. J. Estrella. *Integration of dependent features on sensory evaluation processes*. 2014 Joint Rough Set Symposium: 9th-13th July 2014. Jul 9-13, 2014 . Granada y Madrid (Spain).

M. Espinilla, F. J. Martínez, L. Martínez, R. de Andrés Calle, *Web based Support System for Integral Performance Appraisal*. The 10th International FLINS Conference on Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making, Istanbul (Turkey), August 26-29th, 2012.

M. Espinilla, F. J. Martínez, L. Martínez. *A web based evaluation support system by integral performance appraisal*. Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Nov. 15-16 Hangzhou. China. 2010.

En congresos Nacionales:

M. Espinilla, F. J. Martínez, L. Martínez, *Aplicación web para Evaluación de Desempeño 360 Grados Basada en un Modelo Lingüístico Multigranular*. III Simposio sobre Lógica Fuzzy y Soft Computing, LFSC2010-EUSFLAT, (CEDI2010), Valencia (Spain), 7-10 Septiembre, 2010

Apéndice

Apéndices A

Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea

En este Apéndice se incluyen una serie de conceptos y nociones relacionados con la revisión sobre tratamiento de información heterogénea realizada en el Capítulo 3 de esta memoria de investigación.

En concreto, este Apéndice se compone, en primer lugar, de las nociones y conceptos básicos sobre la teoría de conjuntos difusos con el fin de, en segundo lugar, describir el enfoque lingüístico difuso que es utilizado para modelar la información lingüística, el cual está basado en la teoría de conjuntos difusos. Finalmente, se revisa el modelo lingüístico 2-tupla para modelar la información lingüística, describiéndose su modelo de representación y computacional.

A.1. Nociones y conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos

Propuesta por L. Zadeh en la década de los 60's [135], la teoría de conjuntos difusos tiene como objetivo modelar los problemas donde la teoría clásica de conjuntos resulta no operativa e insuficiente. Dicha teoría generaliza la noción de conjunto clásico y presenta el concepto de conjunto difuso. Los conjuntos difusos tienen como objetivo representar la imprecisión y la incertidumbre [84, 140] de forma diferente al tratamiento tradicional llevado a cabo por la teoría clásica de conjuntos y la teoría de la probabilidad. Desde que fue propuesta, gran cantidad

A. Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea

de investigadores la han utilizado en su investigación y la han aplicado en dos vertientes principales [107]:

1. Ha sido aplicada como una herramienta para el trato de situaciones reales donde aparece incertidumbre (imprecisión, vaguedad, inconsistencia, etc.). Gracias a la generalidad de esta teoría, ésta se adapta con facilidad a diferentes contextos y problemas. Ha sido aplicada en numerosas áreas de conocimiento, demostrando ser una herramienta de gran utilidad, como por ejemplo en: toma de decisiones [3, 16, 68], evaluación sensorial [95, 112], evaluación del desempeño [37, 39], diagnósticos clínicos [40], servicios electrónicos inteligentes [94, 96], evaluación de la calidad de documentos web [75, 76], bases de datos [19, 134], modelos de recuperación de información [17, 18, 73, 74], etc.
2. Otra de las vertientes donde ha sido aplicada ha sido como una teoría matemática formal [77, 101], la cual amplía 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.

Esta memoria de investigación se centra en la primera vertiente, donde utilizaremos la teoría de conjuntos difusos en problemas de toma de decisiones bajo incertidumbre, aplicada a la evaluación del desempeño.

En el siguiente apartado, haremos una breve revisión sobre algunos conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos. Esta revisión no pretende ser exhaustiva, para profundizar en mayor detalle sobre el tema, véase [84, 135].

A.1.1. Conjuntos difusos y funciones de pertenencia

Un conjunto se puede definir como una colección de objetos que tienen una o varias propiedades comunes por las que se puedan caracterizar a dicho conjunto. Como ejemplo, podemos considerar una propiedad como una función que le asigna un valor dentro del conjunto $\{0, 1\}$ a cada elemento del universo de discurso, X , de manera que si un elemento pertenece al conjunto, es decir, cumple la propiedad fijada, se le asigna el valor 1, o, en caso contrario, el valor 0.

A.1. Nociones y conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos

La teoría de conjuntos difusos, propuesta L. Zadeh [135], se basa en el concepto de conjunto difuso, el cual flexibiliza el requerimiento anterior y admite valores intermedios en la función característica, la cual se denomina función de pertenencia. Esto nos permite realizar una interpretación más realista de la información existente en el mundo real, puesto que la mayoría de las categorías que describen los objetos, no tienen unos límites claros ni bien definidos.

Definición 20 *Un conjunto difuso \tilde{A} sobre un dominio o universo de discurso X 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 $[0, 1]$:*

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

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

Esto permite una interpretación más realista de las categorías que describen los objetos del mundo real, los cuales no tienen unos límites claros y bien definidos, como por ejemplo: “*buen sabor, persona joven o eficiencia en el trabajo*”. Si un objeto pertenece a una categoría con un grado que puede ser expresado mediante un número real en el intervalo $[0, 1]$, cuanto más cercano a 1 sea el grado, mayor será el grado de pertenencia a la categoría determinada, y cuanto más cercano a 0, menor será el grado de pertenencia a dicha categoría.

Por tanto se puede definir un conjunto difuso como una colección de objetos con valores de pertenencia entre 0, no pertenece, y 1, pertenencia total.

A.1.1.1. Definiciones básicas relacionadas con conjuntos difusos

A continuación, se van a exponer otros conceptos básicos a la hora de trabajar con conjuntos difusos como son: el soporte, la altura y el α -corte de un conjunto difuso.

Definición 21 *Se define el **soporte** de un conjunto difuso \tilde{A} en el universo X , como el conjunto formado por todos los elementos de X cuyo grado de pertenencia a \tilde{A} sea mayor que 0:*

$$\text{soporte}(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$$

Definición 22 Se define la **altura** de un conjunto difuso \tilde{A} como el mayor grado de pertenencia de todos los elementos de dicho conjunto:

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

Definición 23 El α -**corte** de un conjunto difuso \tilde{A} es el conjunto formado por todos los elementos del universo X cuyos grados de pertenencia en \tilde{A} son mayores o iguales que el valor de corte $\alpha \in [0, 1]$:

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

A.1.1.2. Tipos de funciones de pertenencia

En principio, cualquier forma de la función $\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0, 1]$, describe una función de pertenencia asociada a un conjunto difuso $\mu_{\tilde{A}}$ que depende no solo del concepto que representa, sino también del contexto en el que se usa. Las funciones de pertenencia pueden tener diferentes representaciones gráficas, algunas de ellas son representadas en la Figura A.1.

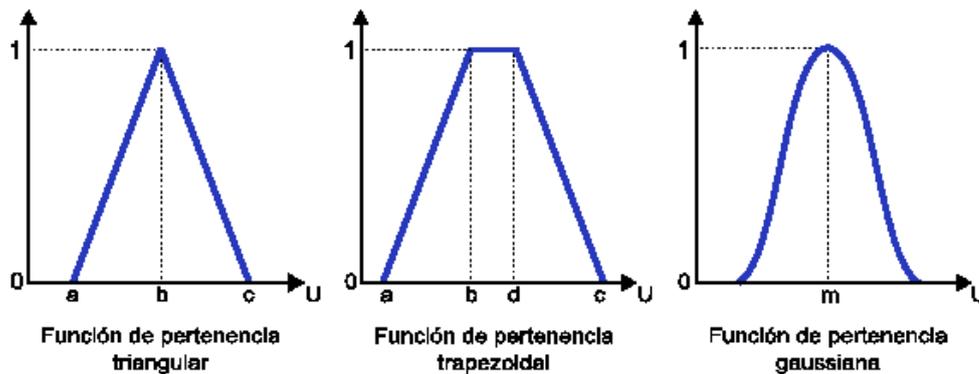


Figura A.1: Representación gráfica de las funciones de pertenencia triangular, trapezoidal y gaussiana

Los conjuntos difusos suelen representarse con familias de funciones paramétricas, siendo las más comunes las siguientes:

1. Función triangular

A.1. Nociones y conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in (a, b) \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } x \in (b, c) \\ 0 & \text{si } x \geq c \end{cases}$$

donde b es el punto modal de la función triangular, siendo a y c los límites inferior y superior respectivamente, para los valores no nulos de $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

2. Función trapezoidal

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in (a, b) \\ 1 & \text{si } x \in (b, d) \\ \frac{c-x}{c-d} & \text{si } x \in (d, c) \\ 0 & \text{si } x \geq c \end{cases}$$

donde b y d indican el intervalo donde la función de pertenencia vale 1 y siendo a y c los límites inferior y superior respectivamente para los valores no nulos de $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

3. Función gaussiana

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right)$$

donde m denota el centro de la función y σ el ancho de la función.

A.1.1.3. Número difuso

Entre los diversos tipos de conjuntos difusos, tienen una especial importancia los conjuntos difusos que se definen en el conjunto de números reales. Las funciones de pertenencia de estos conjuntos tienen la forma $\tilde{A} : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$.

Esta función tiene claramente un significado cuantitativo y bajo ciertas condiciones, se puede ver a el conjunto difuso \tilde{A} como un número difuso [50, 84].

Definición 24 *Un número difuso \tilde{A} es un conjunto difuso, definido sobre la recta real, cuya función de pertenencia es convexa y normal, conteniendo un solo punto modal, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$, para los elementos del conjunto.*

A.2. Enfoque lingüístico difuso

En la vida real, los criterios o atributos utilizados en los problemas de evaluación pueden ser de distinta naturaleza. Cuando los criterios establecidos en dichos problemas son de naturaleza cuantitativa, estos se pueden valorar de manera fácil utilizando valores numéricos. Sin embargo, cuando dichos criterios no son de naturaleza cuantitativa sino cualitativa o cuando la información que se va a manejar es vaga e imprecisa, no es adecuado ni es sencillo utilizar valoraciones numéricas.

Los criterios o atributos cualitativos suelen aparecer con frecuencia en problemas definidos en contextos con incertidumbre, en los cuales se utiliza información relacionada con percepciones u opiniones emitidas por humanos, tales como: esfuerzo, capacidad, eficiencia, gastos, etc. En estos casos, es más adecuado y sencillo el uso de palabras del lenguaje natural (algo, bastante, mucho, poco, etc.) para valorar tales criterios o atributos. Así, se han obtenido excelentes resultados con el uso del enfoque lingüístico difuso [1, 3, 40, 65] en dichos casos.

En esta memoria de investigación se hace uso del enfoque lingüístico difuso para modelar la información lingüística, ya que éste nos proporciona un método eficaz y directo para modelar información lingüística mediante el uso de variables lingüísticas [138], las cuales tienen un dominio de expresión expresado con conjuntos de palabras o términos lingüísticos y usan como base la teoría de conjuntos difusos [135].

A continuación, se revisan los conceptos más relevantes relacionados con el enfoque lingüístico difuso.

A.2.1. Variables lingüísticas

El enfoque lingüístico difuso está basado en la teoría de conjuntos difusos. Este enfoque representa información cualitativa con valores lingüísticos mediante variables lingüísticas [138]. Una variable lingüística se define mediante un valor sintáctico o etiqueta y por un valor semántico o significado, que viene dado por un subconjunto difuso en un universo de discurso. Formalmente se define una variable lingüística de la siguiente manera:

Definición 25 [138] *Una variable lingüística se define como una quintupla*

A.2. Enfoque lingüístico difuso

$(H, T(H), U, G, M)$ donde H es el nombre de la variable. $T(H)$ (o simplemente T) representa el conjunto de términos de H , es decir, la colección de etiquetas lingüísticas de H , donde cada valor es una variable lingüística difusa notada genéricamente como X y que varía a lo largo del universo del discurso U , el cuál está asociado con una variable base llamada u ; G es la regla sintáctica, la cual normalmente toma la forma de una gramática, que genera los nombres de los valores de H ; y M es una regla semántica para asociar significado $M(X)$, a cada elemento de H , el cual es un conjunto difuso definido en U .

El concepto de variable lingüística es útil para valorar criterios o atributos 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.

A continuación serán revisadas ambas actividades.

A.2.2. Elección de una adecuada sintaxis del conjunto de términos lingüísticos

Para que una persona pueda expresar con facilidad su conocimiento sobre un determinado criterio, es necesario disponer de un conjunto apropiado de descriptores lingüísticos. Un aspecto muy importante a la hora de establecer la sintaxis y semántica de una variable lingüística, es el grado de incertidumbre con el que se cuenta [15], es decir, la cardinalidad o número de términos del conjunto de términos lingüísticos usados para representar y expresar la información.

Se dice que un conjunto de términos lingüísticos tiene una granularidad baja o un tamaño de grano grueso, cuando la cardinalidad o número de términos del conjunto de etiquetas lingüísticas es pequeña. El uso de esta granularidad es adecuado cuando los expertos tienen un bajo grado de conocimiento sobre la variable a valorar. Sin embargo, si el experto tiene un alto grado de conocimiento,

A. Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea

se puede producir una pérdida de expresividad en la información proporcionada por el experto.

Se dice que un conjunto de términos lingüísticos tiene una granularidad alta o un tamaño de grano fino cuando la cardinalidad o número de términos del conjunto de etiquetas lingüísticas es alta. El uso de esta granularidad es adecuado cuando los expertos tienen un alto grado de conocimiento sobre la variable a valorar. Sin embargo, si el experto tiene un bajo grado de conocimiento, se puede producir una frustración, ya que el experto no es capaz de elegir cual etiqueta representa mejor su opinión o valoración.

La cardinalidad de un conjunto de términos lingüísticos no debe ser demasiado pequeña, de tal manera que no se imponga una restricción de precisión a la información que quiere transmitir cada experto, y debe ser lo suficientemente grande como para permitir discriminar las opiniones o valoraciones expresadas por el experto. Valores típicos de granularidad en un conjunto de términos lingüístico son valores impares, tales como 7 ó 9, donde la etiqueta central representa una valoración de indiferencia o central y el resto de etiquetas se encuentran distribuidas uniformemente y simétricamente a su alrededor [15].

Cuando diferentes individuos tienen diferente grado de conocimiento sobre una variable lingüística, es necesario que cada individuo exprese su valoración en 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 tesis, centrada en procesos de evaluación del 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, ya que nuestros modelos propuestos se adaptan al conocimiento que tiene un evaluador sobre el criterio por el que es preguntado.

Una vez conocida y establecida la cardinalidad a usar en un conjunto de términos lingüístico, es necesario aplicar un mecanismo para generar la sintaxis de

A.2. Enfoque lingüístico difuso

los términos lingüísticos. Existen dos enfoques para establecer dicho mecanismo, el primero permite definir la sintaxis a partir de una gramática libre de contexto [13, 17, 138, 136] y el segundo basado en términos primarios con una estructura ordenada [16, 64, 131].

En esta memoria de investigación, se ha utilizado el segundo enfoque para construir la sintaxis del conjunto de términos lingüístico, ya que su complejidad es menor.

El enfoque basado en términos primarios con una estructura ordenada consiste en asignar directamente un conjunto de términos lingüísticos distribuidos sobre una escala con un orden total definido [16, 64, 131]. Por ejemplo, consideremos el siguiente conjunto de siete términos lingüísticos $T(H) = \{N, MB, B, M, A, MA, P\}$:

$$\begin{aligned} s_0 &= N = Nada & s_1 &= MB = MuyBajo & s_2 &= B = Bajo \\ s_3 &= M = Medio & s_4 &= A = Alto & s_5 &= MA = MuyAlto \\ s_6 &= P = Perfecto \end{aligned}$$

donde $s_i < s_j$ si y sólo si $i < j$, siendo además necesario que el conjunto de términos lingüísticos cumpla las siguientes condiciones [130].

1. Existe un operador de negación. Por ejemplo, $Neg(s_i) = s_j$, $j = g - i$, donde $(g+1)$ 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 $s_i \leq s_j$.

A.2.3. Definición de la semántica asociada a cada término lingüístico

En la literatura existente, encontramos varios métodos para definir la semántica de un conjunto de etiquetas lingüísticas [16, 118], siendo el método más utilizado el enfoque basado en funciones de pertenencia [15, 17, 43, 86]. Dicho enfoque define la semántica del conjunto de términos lingüísticos usando para ello conjuntos difusos en el intervalo $[0,1]$ donde cada conjunto difuso está definido por una función de pertenencia.

A. Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea

Un método eficiente desde un punto de vista computacional para caracterizar un conjunto difuso es usar una representación basada en parámetros de su función de pertenencia [14, 41, 44, 45]. Debido a que las valoraciones lingüísticas dadas por las fuentes de información son aproximaciones, algunos autores consideran que las funciones de pertenencia paramétricas son lo suficientemente buenas para representar la vaguedad de dichas valoraciones lingüísticas [44, 45].

La Figura A.2 muestra la semántica de una variable lingüística, utilizando funciones de pertenencia trapezoidales y triangulares, para evaluar la altura de una persona.

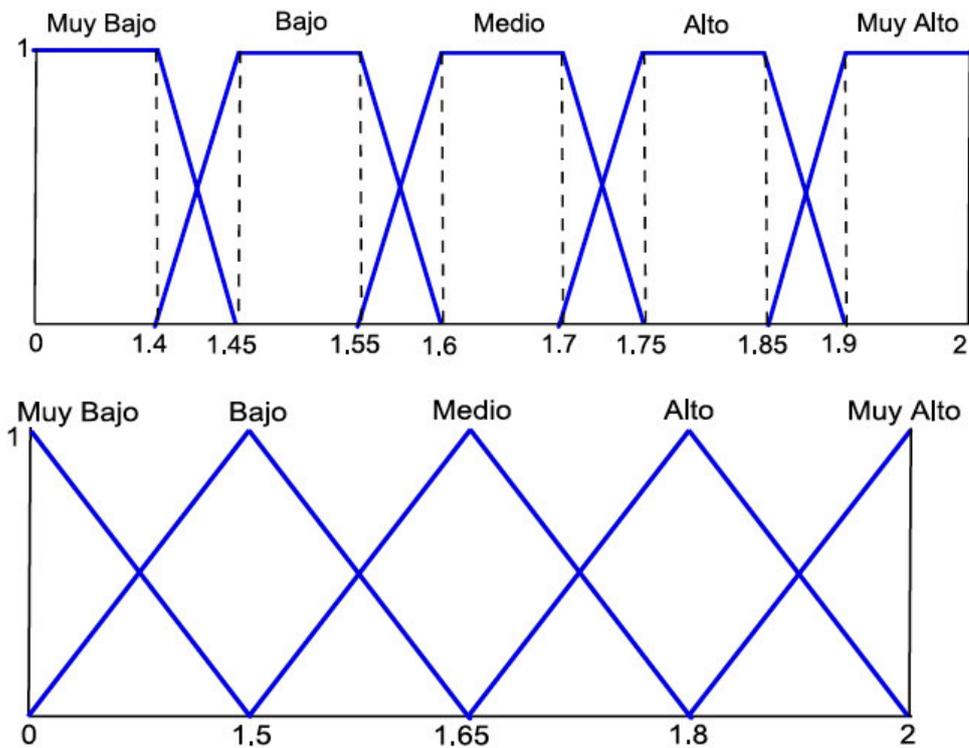


Figura A.2: Dos definiciones semánticas para la variable lingüística altura mediante funciones trapezoidales y triangulares

A.3. Modelo lingüístico basado en 2-tupla

El modelo lingüístico 2-tupla fue introducido por Herrera y Martínez en [69] con el objetivo de proponer un nuevo modelo que mejorase los problemas de pérdida de información presentes en los procesos de computación con etiquetas lingüísticas [71], tales como el modelo basado en el principio de extensión [40] y modelo simbólico [43]. Además, el modelo lingüístico 2-tupla se ha utilizado para poder hacer frente al tratamiento de información en contextos con múltiples escalas lingüísticas [54, 67, 70], en contextos con información heterogénea [72] y en contextos con información lingüística no balanceada [66]. A continuación se revisa brevemente el modelo lingüístico de representación 2-tupla y su modelo computacional.

A.3.1. Modelo de representación lingüístico 2-tupla

Basándose en el concepto de traslación simbólica, se presentó un nuevo modelo de representación para información lingüística. Dicho modelo tiene como base de representación un par de valores o 2-tupla, (s_i, α_i) , donde $s_i \in S$ y $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$.

Definición 26 [69]. 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 $[-0.5, 0.5)$ 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 .

Este modelo de representación define un par de funciones para realizar transformaciones entre valores numéricos definidos en el intervalo de granularidad y valores lingüísticos 2-tupla con el objetivo de realizar los procesos computacionales sobre valores lingüísticos 2-tupla [69]:

Definición 27 [69]. Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5)$ 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 β se obtiene usando la siguiente función:

$$\Delta_S : [0, g] \longrightarrow \langle S \rangle$$

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha_i), \text{ con } \begin{cases} i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \end{cases} \quad \alpha \in [-0.5, 0.5),$$

donde $\text{round}(\cdot)$ es el operador usual de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

Así, un valor en el intervalo $[0, g]$ siempre queda identificado con un valor lingüístico 2-tupla en $\langle S \rangle$.

Definición 28 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüístico y $(s_i, \alpha) \in \langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5)$. El valor numérico en el intervalo de granularidad $[0, g]$ que representa el valor lingüístico 2-tupla (s_i, α) se obtiene utilizando la siguiente función:

$$\Delta_S^{-1} : \langle S \rangle \longrightarrow [0, g]$$

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

Proposición 1 La conversión de un valor lingüístico perteneciente a S en un valor lingüístico 2-tupla consiste en añadir un valor 0 a la traslación simbólica de modo que $s_i \in S \implies (s_i, 0) \in \langle S \rangle$.

A.3.2. Modelo computacional lingüístico 2-tupla

Junto al modelo de representación visto con anterioridad, también se definió un modelo computacional asociado. Este fue presentado en [69] y define los siguientes operadores para valoraciones lingüísticas 2-tupla:

1. *Operador de comparación de valores lingüísticos 2-tupla.* La comparación de información lingüística representada por medio de dos valores lingüísticos 2-tupla se realiza de acuerdo a un orden lexicográfico. Consideremos dos valores lingüísticos 2-tupla (s_k, α_1) y (s_l, α_2) que representan cantidades de información:

A.3. Modelo lingüístico basado en 2-tupla

- Si $k < l$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
- Si $k = l$, entonces
 - a) Si $\alpha_1 = \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
 - b) Si $\alpha_1 < \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - c) Si $\alpha_1 > \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2) .

2. *Operador de negación de un valor lingüístico 2-tupla.* Dicho operador se define como,

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

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

3. *Operadores de agregación para valores lingüísticos 2-tupla.* La agregación de información consiste en obtener un valor lingüístico 2-tupla que resuma un conjunto de valores lingüísticos 2-tupla. En la literatura existente, se pueden encontrar una extensa lista de operadores de agregación, los cuales nos permiten combinar la información de acuerdo a distintos criterios [7, 8, 9, 27, 49, 51, 126].

A continuación, se proporcionan los operadores de agregación para valores lingüísticos 2-tupla más frecuentemente utilizados.

Definición 29 [69]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla en $\langle S \rangle$, el valor lingüístico 2-tupla que simboliza la Media Aritmética, \bar{x}^e , es dado por la función $\bar{x}^e : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ definida como:

$$\bar{x}^e((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \Delta_S^{-1}(s_i, \alpha_i) \right) = \Delta_S \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \beta_i \right).$$

Definición 30 [69]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla en $\langle S \rangle$, y $w = (w_1, \dots, w_m)$ donde $w_i \in [0, 1]$ un vector de pesos tal que $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, entonces el valor lingüístico 2-tupla que simboliza la Media Ponderada asociada con w es dado por la función $F^w : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ definida como:

$$F^w((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m w_i \Delta_S^{-1}(s_i, \alpha_i) \right)$$

A. Nociones básicas para el tratamiento de información heterogénea

Definición 31 [69]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla en $\langle S \rangle$, y $w = (w_1, \dots, w_m)$ donde $w_i \in [0, 1]$ un vector de pesos tal que $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, entonces el valor lingüístico 2-tupla que simboliza la Media Ponderada Ordenada (OWA) asociada con w es dado por la función $G^w : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ definida como:

$$G^w((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_i^* \right)$$

donde β_i^* es el i -ésimo mayor elemento de $\{\Delta_S^{-1}(s_1, \alpha_1), \dots, \Delta_S^{-1}(s_m, \alpha_m)\}$, de tal forma que $(\Delta_S^{-1}(s_1, \alpha_1) \geq \Delta_S^{-1}(s_2, \alpha_2) \geq \dots \geq \Delta_S^{-1}(s_m, \alpha_m))$

Apéndices B

Medidas difusas e integrales difusas

En esta memoria de investigación se tratan las interacciones de los criterios evaluados en un proceso de evaluación del desempeño. Para ello, las medidas difusas son utilizadas para representar las interacciones o coaliciones entre los criterios evaluados, mientras que la *Integral de Choquet* es utilizada para agregar las valoraciones de dichos criterios, capturando la dependencia entre los criterios.

En este Apéndice se realiza una breve revisión desde el punto de vista de la teoría de decisión multicriterio sobre las medidas difusas así como de las dos principales integrales difusas: la *Integral de Sugeno* y la *Integral de Choquet*. Dado nuestro interés en esta memoria por la *Integral de Choquet* como operador de agregación para valoraciones lingüísticas 2-tupla, se proporciona una serie de operadores de agregación basados en la *Integral de Choquet* para tales valoraciones.

B.1. Medidas difusas

Entre los múltiples campos de aplicación, las medidas difusas han sido aplicadas con éxito a la teoría de toma de decisiones multicriterio, ya que las medidas difusas son capaces de introducir vetos y favores en las valoraciones de los criterios, así como interacciones entre los distintos criterios, representando la coalición entre ellos [62].

A continuación, se proporciona la definición de una medida difusa para un conjunto de n elementos $N = \{n_1, \dots, n_n\}$.

Definición 32 [116]. Una *medida difusa* es una función de conjuntos $\mu : 2^N \rightarrow [0, 1]$ que satisface las siguientes condiciones:

- $\mu(\emptyset) = 0$
- $\mu(N) = 1$
- $\mu(A) \leq \mu(B)$ siempre que $A \subseteq B$ (μ es monótona).

Como se ha comentado, una medida difusa puede representar la coalición entre criterios, así $\mu(A)$ representa la importancia o el peso de dicha coalición en el conjunto N . La monotonía de una medida difusa implica que añadiendo nuevos elementos a una coalición, dicho peso o importancia en el conjunto no puede ser decrementado.

Para representar las medidas difusas de un conjunto pequeño de elementos, se suele utilizar un vector. Por ejemplo, las medidas difusas de un conjunto de tres elementos $N = \{n_1, n_2, n_3\}$ son representadas del siguiente modo.

$$\begin{array}{ccccc}
 & & \mu(n_1, n_2, n_3) & & \\
 \mu(n_1, n_2) & & \mu(n_1, n_3) & & \mu(n_2, n_3) \\
 \mu(n_1) & & \mu(n_2) & & \mu(n_3) \\
 & & \mu(\emptyset) & &
 \end{array}$$

Una de las características principales de las medidas difusas es que no requieren la propiedad de la aditividad, en contraste con las medidas clásicas. Por dicho motivo, las medidas difusas son también llamadas medidas no aditivas [125]. Como se ha visto, la propiedad de aditividad de las medidas clásicas es sustituida por propiedades más débiles como son la monotonía y la continuidad.

Las medidas difusas pueden clasificarse de acuerdo a su aditividad. Una medida difusa μ definida en N es llamada [2]:

- *Aditiva* : si $\forall A, B \subseteq N$ con $A \cap B = \emptyset$ se tiene que $\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B)$. En este caso, suponiendo que los elementos de N representan un conjunto de criterios, una medida difusa aditiva indica que los criterios son independientes. A continuación, se muestra el ejemplo de una medida aditiva.

B.1. Medidas difusas

Ejemplo 12

$$\begin{array}{ccc} & & 1 \\ 0.4 & 0.7 & 0.9 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 \\ & & 0 \end{array} \quad (\text{B.1})$$

- *Subaditiva*: si $\forall A, B \subseteq N$ se tiene que $\mu(A \cap B) \leq \mu(A) + \mu(B)$. En este caso, suponiendo que los elementos de N representan un conjunto de criterios, una medida difusa subaditiva indica que los criterios son dependientes, representando una coalición con una sinergia negativa.

Ejemplo 13

$$\begin{array}{ccc} & & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ & & 0 \end{array} \quad (\text{B.2})$$

- *Superaditiva*: si $\forall A, B \subseteq N$ con $A \cap B = \emptyset$ se tiene que $\mu(A \cap B) \geq \mu(A) + \mu(B)$. En este caso, suponiendo que los elementos de N representan un conjunto de criterios, una medida difusa superaditiva indica que los criterios son dependientes, representando una coalición con una sinergia positiva.

Ejemplo 14

$$\begin{array}{ccc} & & 1 \\ 0.6 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ & & 0 \end{array} \quad (\text{B.3})$$

Obsérvese que las medidas clásicas solo pueden capturar la primera situación, aditiva, que solo es aplicable cuando no se representa interacción entre los elementos del conjunto.

A continuación, se indica un ejemplo de aplicación de medidas difusas, el cual evidencia la flexibilidad y realismo de las medidas difusas frente a las medidas clásicas [2].

Ejemplo 15 Consideremos un conjunto de trabajadores N de una taller, que son involucrados en la elaboración de productos de un tipo específico, y se supone que el conjunto N está dividido en subgrupos G_1, G_2, \dots, G_n , donde $\mu(G_i)$ indica el número de productos fabricados por cada grupo G_i dentro de una determinada unidad de tiempo. Cuando los grupos trabajan por separado, la función μ es una medida aditiva. Sin embargo, cuando algunos de los grupos trabajan juntos y hay cooperación eficiente entre ellos, la medida es superaditiva. Por el contrario, si la cooperación es ineficaz, la medida es subaditiva.

Unido al concepto de medida difusa se encuentra el concepto de integral difusa que es revisado en la siguiente Sección.

B.2. Integrales difusas. Integral de Sugeno e Integral de Choquet

En [104] se define una integral difusa como una integral respecto a una medida difusa. En esta sección se van a revisar dos de las integrales difusas más importantes, la *Integral de Sugeno* y la *Integral de Choquet* [98].

La *Integral de Sugeno* y la *Integral de Choquet* se realizan sobre conjuntos finitos, basándose la *Integral de Sugeno* en operadores no lineales, mínimo y máximo, y la *Integral de Choquet* en operadores lineales, suma y producto.

Tanto la *Integral de Sugeno* como la *Integral de Choquet* están definidas para el caso continuo y para el caso discreto, siendo el caso discreto el utilizado para agregar valores en la teoría de toma de decisiones multicriterio. Así, dichas integrales, en su caso discreto, son utilizadas como operador de agregación para combinar los argumentos y no solo capturar la importancia de cada argumento, como lo haría el operador de *Media Ponderada*, o su magnitud, como lo haría el operador de *Media Ponderada Ordenada (OWA)*, sino también para tener en cuenta las coaliciones entre los argumentos. Para ello, como se ha comentado previamente, son utilizadas las integrales difusas en conjunción con las medidas difusas.

A continuación, se indican las definiciones de la *Integral de Sugeno* y la *Integral de Choquet* tanto para el caso continuo como para el caso discreto.

B.2. Integrales difusas. Integral de Sugeno e Integral de Choquet

Definición 33 [116]. Sea μ una medida difusa sobre N y $f : N \rightarrow [0, 1]$ una función medible no negativa con respecto a la medida difusa μ , entonces la *Integral de Sugeno* de f respecto a μ es dada por:

$$\int f d\mu = \sup_{\alpha \in [0,1]} \{\alpha \wedge \mu(\{n | f(n) \geq \alpha\})\}$$

donde \wedge es el operador de mínimo.

Definición 34 [116]. Sea $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ un conjunto de valores donde $x_i \in \mathbb{R}$. La *Integral de Sugeno discreta* con respecto a una medida difusa μ es dada por:

$$S_\mu(X) = \max_{i=1, \dots, m} \min\{x_{(i)}, v(H_i)\}$$

donde $(x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(m)})$ es una permutación no decreciente de los elementos del conjunto y $H_i = \{(i), \dots, (m)\}$.

Definición 35 [34]. Sea μ una medida difusa sobre N y $f : N \rightarrow [0, 1]$ una función medible no negativa con respecto a la medida difusa μ , entonces la *Integral Choquet* de f respecto a μ es dada por:

$$\oint f d\mu = \int_0^\infty \mu(\{n | f(n) \geq \alpha\}) d\alpha$$

Definición 36 [34]. Sea $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ un conjunto de valores donde $x_i \in \mathbb{R}$. La *Integral de Choquet discreta* con respecto a una medida difusa μ es dada por:

$$C_\mu(X) = \sum_{i=1}^m x_{(i)} (\mu(\{j | x_j \geq x_{(i)}\}) - \mu(\{j | x_j \geq x_{(i+1)}\}))$$

donde $(x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(m)})$ es una permutación no decreciente de los elementos del conjunto y $x_{m+1} = \infty$.

Cabe notar que la *Integral de Choquet* puede ser reescrita con diferentes expresiones, por lo que también podemos encontrar la *Integral de Choquet discreta* definida como sigue:

Definición 37 [124]. Sea $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ un conjunto de valores donde $x_i \in \mathbb{R}$. La *Integral de Choquet discreta* con respecto a una medida difusa μ es dada por:

$$C_\mu(X) = \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - x_{(i-1)}) \mu(H_i)$$

donde $x_{(0)} = 0$ y $H_i = \{(i), \dots, (n)\}$ es el subconjunto de índices de los $n - i + 1$ mayores componentes de X .

B.3. Operadores de agregación 2-tupla basados en la Integral de Choquet discreta

Dado que en nuestra memoria de investigación los procesos de agregación son realizados sobre valores lingüísticos 2-tupla, a continuación presentamos algunos operadores de agregación para valores lingüísticos 2-tupla basados en la *Integral de Choquet* discreta [133].

Definición 38 [133]. Sea $((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla, Y sea un conjunto de atributos y μ una medida difusa en Y , la Integral de Choquet discreta para valores lingüísticos 2-tupla $IC_\mu : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definida como:

$$IC_\mu((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \\ = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m [(\mu(H)_{\sigma(i)}) - (\mu(H)_{\sigma(i-1)})] \Delta_S^{-1}(s_i, \alpha_i) \right)$$

donde $(\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(m))$ es una permutación de $(1, 2, \dots, m)$ tal que, $((s_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}) \geq (s_{\sigma(2)}, \alpha_{\sigma(2)}) \geq \dots \geq (s_{\sigma(m)}, \alpha_{\sigma(m)}))$, sea $y_{\sigma(i)}$ el atributo correspondiente a $(s_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)})$ y $(H)_{\sigma(i)} = \{y_{\sigma(k)} | k \leq i\}$ para $i \geq 1$ con $(H)_{\sigma(0)} = \emptyset$.

Definición 39 [133]. Sea $((s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla, Y un conjunto de atributos y μ un medida difusa en Y , entonces el operador geométrico correlacionado 2-tupla $TCG_\mu : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definido como:

$$TCG_\mu((s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \\ = \Delta \left(\prod_{i=1}^m (\Delta^{-1}(s_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)}))^{\mu(H_{\sigma(i)}) - \mu(H_{\sigma(i-1)})} \right)$$

donde $(\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(m))$ es una permutación de $(1, 2, \dots, m)$ tal que, $(s_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}) \geq (s_{\sigma(2)}, \alpha_{\sigma(2)}) \geq \dots \geq (s_{\sigma(m)}, \alpha_{\sigma(m)})$, $y_{\sigma(i)}$ es el atributo correspondiente a $(s_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)})$ y $H_{\sigma(i)} = \{y_{\sigma(k)} | k \leq i\}$ para $i \geq 1$, $H_{\sigma(0)} = \emptyset$.

B.3. Operadores de agregación 2-tupla basados en la Integral de Choquet discreta

Definición 40 [133]. Sea $((s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_m, \alpha_m))$ un vector de valores lingüísticos 2-tupla, Y un conjunto de atributos, μ una medida difusa en Y y $\lambda > 0$, entonces el operador promedio correlacionado 2-tupla generalizado $GTCA_{\mu, \lambda} : \langle S \rangle^m \rightarrow \langle S \rangle$ es definido como:

$$GTCA_{\mu, \lambda}((s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \\ = \Delta \left(\sum_{i=1}^m (\mu(H_{\sigma(i)}) - \mu(H_{\sigma(i-1)})) (\Delta^{-1}(s_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)}))^{\lambda} \right)^{1/\lambda}$$

donde $(\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(m))$ es una permutación de $(1, 2, \dots, m)$ tal que, $(s_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}) \geq (s_{\sigma(2)}, \alpha_{\sigma(2)}) \geq \dots \geq (s_{\sigma(m)}, \alpha_{\sigma(m)})$, $y_{\sigma(i)}$ es el atributo correspondiente a $(s_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)})$ y $H_{\sigma(i)} = \{y_{\sigma(k)} | k \leq i\}$ para $i \geq 1$, $H_{\sigma(0)} = \emptyset$.

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] G. Arenas Díaz, L. Ramírez, and R. Édgar. Medidas difusas e integrales difusas. *Universitas Scientiarum*, vol 18(1):7–32, 2013.
- [3] B. Arfi. Fuzzy decision making in politics: a linguistic fuzzy-set approach. *Political Analysis*, 13(1):23–56, 2005.
- [4] K. Atanassov. *Intuitionistic fuzzy sets. Theory and applications*. Physica-Verlag, 1999.
- [5] C. G. Banks and L. Roberson. Performance appraisers as test developers. *Academy of Management Review*, 10:128–142, 1985.
- [6] J. N. Baron and D. M. Kreps. *Strategic Human Resources, Frameworks for General Managers*. Wiley & Sons, Nueva York, 1999.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

-
- [10] H. J. Bernardin and R. W. Beatty. *Performance Appraisal: Assessing Human Behavior at Work*. Kent, Boston, 1984.
- [11] H. J. Bernardin, J. S. Kane, S. Ross, J. D. Spina, and D. L. Johnson. *Handbook of Human Resources Management*. Blackwell, Cambridge, 1995.
- [12] T. Bilgiç. Interval-values preference structures. *European Journal of Operational Research*, 105:162–183, 1998.
- [13] P. P. Bonissone. *A fuzzy sets based linguistic approach: Theory and applications*, pages 329–339. North-Holland, 1982.
- [14] P. P. Bonissone. *Approximate Reasoning in Decision Analysis*. In: M.M. Gupta and E. Sánchez (Eds.). North-Holland Publishing Company, 1982.
- [15] P. P. Bonissone and K. S. Decker. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland, 1986.
- [16] G. Bordogna, M. Fedrizzi, and G. Pasi. A Linguistic Modeling of Consensus in Group Decision Making Based on OWA Operators. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 27(1):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*, 156(3):418–426, 2005.
- [20] D. Bouyssou, T. Marchant, M. Pirlot, P. Perny, and A. Tsoukiàs. *Evaluation and decision models: a critical perspective*. Kluwer Academic Publishers, 2000.

- [21] R. D. Bretz, G. T. Milkovich, and W. Read. The current state of performance appraisal research and practice: Concerns, directions and implications. *Journal of Management*, 18:321–352, 1992.
- [22] Z. Bubnicki. *Analysis and decision making in uncertain systems*. Springer-Verlag, 2004.
- [23] P. Burillo and H. Bustince. Construction theorems for intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 84(3):271–281, 1996.
- [24] H. Bustince and P. Burillo. Mathematical analysis of interval-valued fuzzy relations: Application to approximate reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(2):205–219, 2000.
- [25] G. Bykózkan and D. Ruan. Choquet integral based aggregation approach to software development risk assessment. *Information Sciences*, 180(3):441–451, 2010.
- [26] F. J. Cabrerizo, J. López-Gijón, A. A. Ruíz, and E. Herrera-Viedma. A model based on fuzzy linguistic information to evaluate the quality of digital libraries. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 9(3):455–472, 2010.
- [27] T. Calvo, R. Mesiar, and R. R. Yager. Quantitative weights and aggregation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12(1):62–69, 2004.
- [28] L. Canos and V. Liern. Soft computing-based aggregation methods for human resource management. *European Journal of Operational Research*, 189:669–681, 2008.
- [29] R. L. Cardy and G. H. Dobbins. *Performance Appraisal: Alternative Perspectives*. South-Western, Cincinnati, 1994.
- [30] R. A. Carrasco and P. Villar. A new model for linguistic summarization of heterogeneous data: an application to tourism web data sources. *Soft Computing*, 135–151, 2012.
- [31] Y. J. Chen. Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9):1651–1670, 2011.

- [32] C. H. Cheng and Y. Lin. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142:174–186, 2002.
- [33] H. Chernoff. *Elementary decision theory*. Dover Publications, 1987.
- [34] G. Choquet. *Theory of capacities*, volume 5, pages 131–295. Annales de L’Institut Fourier, 1953.
- [35] R. T. Clemen. *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, 1995.
- [36] R. de Andrés Calle. *Evaluación del Desempeño: Nuevos Enfoques desde las Teorías de Subconjuntos Difusos y de la Decisión Multi-criterio*. PhD thesis, Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, 2009.
- [37] R. de Andrés Calle, M. Espinilla, and L. Martínez. An extended hierarchical linguistic model for managing integral evaluation. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(4):486–500, 2010.
- [38] R. de Andrés Calle, J. L. García Lapresta, and L. Martínez. Multi-granular linguistic performance appraisal model. *Soft Computing*, 14(1):21–34, 2009.
- [39] R. de Andrés Calle, J. L. García-Lapresta, and L. Martínez. A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal. *Soft Computing*, 14(1):21–34, 2010.
- [40] R. Degani and G. Bortolan. The Problem of Linguistic Approximation in Clinical Decision Making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2:143–162, 1988.
- [41] D. Delgado, F. Herrera, E. Herrera-Viedma, M. J. Martín, and M. A. Vila. *Combining linguistic information in a distributed intelligent agent model for information gathering*. In: *Computing with Words*, P.P. Wang (Ed.). Wiley Series on Intelligent Systems. John Wiley and Sons, 1999.

- [42] M. Delgado, F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. Combining numerical and linguistic information in group decision making. *Information Sciences*, 107:177–194, 1998.
- [43] M. Delgado, J. L. Verdegay, and M. A Vila. Linguistic decision making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 7:479–492, 1992.
- [44] M. Delgado, M. A Vila, and W. Voxman. A fuzziness measure for fuzzy numbers; applications. *Fuzzy Sets and Systems*, 94:205–216, 1998.
- [45] M. Delgado, M. A. Vila, and W. Voxman. On a canonical representation of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, (93):125–135, 1999.
- [46] G. Dessler. *Human Resource Management*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 2003.
- [47] S. Dolan, S. Schuler, and R. Valle Cabrera. *La Gestión de los Recursos*. Mc Graw-Hill, Madrid, 1999.
- [48] J. Doyle. Prospects for preferences. *Computational Intelligence*, 20(2):111–136, 2004.
- [49] D. Dubois and J. L. Koning. Social choice axioms for fuzzy set aggregation. *Fuzzy Sets and Systems*, 43:257–274, 1991.
- [50] D. Dubois and H. Prade. *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Kluwer Academic, 1980.
- [51] D. Dubois and H. Prade. A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information Science*, 36:85–121, 1985.
- [52] D. Dubois and H. Prade. Rough fuzzy-sets and fuzzy rough sets. *International Journal of General Systems*, 13(2-3):191–209, 1990.
- [53] M. Edwards and E. Ewen. Automating 360 degree feedback. *HR Focus*, 70:3, 1996.
- [54] M. Espinilla, J. Liu, and L. Martínez. An Extended Hierarchical Linguistic Model for Decision-Making Problems. *Computational Intelligence*, 27(3):489–512, 2011.

- [55] T. Evangelos. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2000.
- [56] G. R. Ferris and T. A. Judge. Personnel/Human Resources Management: A political influence perspective. *Journal of Management*, 17:1–42, 1991.
- [57] C. Fisher, L. F. Schoenfeldt, and J. B. Shaw. *Human Resources Management*. Houghton Mifflin Company, Boston, 2006.
- [58] C. Fletcher. Performance appraisal and management: The developing. *Journal of Occupational and Organization Psychology*, 74:473–487, 2001.
- [59] J. Fodor and M. Roubens. *Fuzzy preference modelling and multicriteria decision support*. Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [60] L. R. Gómez Mejía, D. B. Balkin, and R. L. Cardy. *Dirección y Gestión de Recursos Humanos*. Prentice-Hall, Madrid, 2001.
- [61] M. Grabisch. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 89:445–456, 1996.
- [62] M. Grabisch. Alternative representations of discrete fuzzy measures for decision making. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 5(5):587–607, 1997.
- [63] S. Greco, B. Matarazzo, and R. Slowinski. Rough sets theory for multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 129(1):1–47, 2001.
- [64] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Linguistic Decision Analysis: Steps for Solving Decision Problems under Linguistic Information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115:67–82, 2000.
- [65] 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.
- [66] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. A Fuzzy Linguistic Methodology To Deal With Unbalanced Linguistic Term Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, page In press, 2007.

- [67] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and P. J. Sanchez. *A Multi-Granular Linguistic Decision Model for Evaluating the Quality of Network Services*. Intelligent Sensory Evaluation: Methodologies and Applications. Springer, Ruan Da, Zeng Xianyi (Eds.), 2004.
- [68] 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(2):175–190, 1996.
- [69] 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.
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] F. Herrera, L. Martínez, and P.J. Sánchez. Managing Non-Homogeneous Information in Group Decision Making. *European Journal of Operational Research*, 166(1):115–132, 2005.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] U. Hohle. *Mathematics of fuzzy sets*. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [78] T. H. Hsu, T. N. Tsai, and P. L. Chiang. Selection of the optimum promotion mix by integrating a fuzzy linguistic decision model with genetic algorithms. *Information Sciences*, 179(1-2):41–52, 2009.
- [79] I. B. Huang, J. Keisler, and I. Linkov. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 2011.
- [80] M. Inuiguchi. Generalizations of rough sets: from crisp to fuzzy cases. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 3066:26–37, 2004.
- [81] A. Ishizaka and P. Nemery. *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*. Wiley & Sons, 2013.
- [82] R. L. Keeney and H. Raiffa. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- [83] J. L. Kerr. Diversification strategies and managerial rewards: An empirical study. *Academy of Management Journal*, 28:155–179, 1985.
- [84] G. J. Klir and B. Yuan. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Prentice-Hall PTR, New Jersey, 1995.
- [85] G. P. Latham and K. N. Wexley. *Increasing Productivity through Performance Appraisal*. Adisson-Wesley, 1981.
- [86] H. M. Lee. Applying Fuzzy Set Theory to Evaluate the Rate of Aggregative Risk in Software Development. *Fuzzy Sets and Systems*, 80:323–330, 1996.

- [87] D. F. Li, Z. G. Huang, and G. H. Chen. A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making. *Computers and Industrial Engineering*, 59(4):561–572, 2010.
- [88] X. Li, D. Ruan, J. Liu, and Y. Xu. A linguistic-valued weighted aggregation operator to multiple attribute group decision making with quantitative and qualitative information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3):274–284, 2008.
- [89] J. Lu, J. Ma, G. Zhang, Y. Zhu, X. Zeng, and L. Koehl. Theme-based comprehensive evaluation in new product development using fuzzy hierarchical criteria group decision-making method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(6):2236–2246, 2011.
- [90] J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, and F. Wu. *Multi-Objective Group Decision Making*. Imperial College Press, Londres, 2007.
- [91] J. Ma, J. Lu, and G. Zhang. Decider: A fuzzy multi-criteria group decision support system. *Knowledge-Based Systems*, 23(1):23–31, 2010.
- [92] J. L. Marichal. An Axiomatic Approach of the Discrete Choquet Integral as a Tool to Aggregate Interacting Criteria. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6):800–807, 2000.
- [93] S. Marshall. *Complete turnaround 360-degree evaluations gaining favour with workers management*. Arizona Republic, D1, 1999.
- [94] L. Martínez, M. Barranco, L. G. Pérez, and M. Espinilla. A Knowledge Based Recommender System with Multigranular Linguistic Information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3):225–236, 2008.
- [95] 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.
- [96] 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.

- [97] J. A. Mello. *Strategic Human Resource Management*. Thomson Learning, Nueva York, 2002.
- [98] R. Mesiar. Choquet-like integrals. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 194(2):477–488, 1995.
- [99] J. B. Miner. Development and application of the rated ranking technique in performance appraisal. *Journal of Occupational Psychology*, 6:291–305, 1998.
- [100] H. Minkowski. *Allgemeine lehrsätze über konvexe polyeder*. Nachr. Ges. Wiss, Gottingen 1897, 1987.
- [101] J. N. Moderson and P. S. Nair. *Fuzzy mathematics*. Physica-Verlag, New York, 1998.
- [102] R. W. Mondy and R. M. Noe. *Administración de Recursos Humanos*. Pearson, Prentice Hall, México, 2005.
- [103] M. S. Chopo Murillo. Remuneración en base a resultados. ¿Todo ventajas? In *Actas del XIV Congreso ACEDE*, Murcia, 2004.
- [104] T. Murofushi and M. Sugeno. *Fuzzy measures and fuzzy integrals*. Department of Computational Intelligence and Systems Science, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan, 2000.
- [105] K. R. Murphy and J. N. Cleveland. *Performance Appraisal: An Organizational Perspective*. Allyn & Bacon, Boston, 1991.
- [106] W. Pedrycz, P. Ekel, and R. Parreiras. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd., 2010.
- [107] W. Pedrycz and F. Gomide. *An introduction to fuzzy sets: Analysis and Design (Complex Adaptive Systems)*. Bradford Book, 1998.
- [108] S. Ríos, C. Bielza, and A. Mateos. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*. Ra-Ma, Madrid, 2002.

- [109] R. M. Rodríguez, L. Martínez, V. Torra, Z. S. Xu, and F. Herrera. Hesitant fuzzy sets: state of the art and future directions. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(6):495–524, 2014.
- [110] C. Romero. *Teoría de la Decisión Multi-criterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Alianza Universidad, Madrid, 1993.
- [111] M. Roubens and Ph. Vincke. *Preference modelling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 250. Springer-Verlag, 1986.
- [112] D. Ruan and X. Zeng (Eds.). *Sensory Evaluation: Methodologies and Applications*. Springer, 2004.
- [113] E. H. Ruspini. A New Approach to Clustering. *Inform. Control*, 15:22–32, 1969.
- [114] P. J. Sánchez, L. Martínez, C. García-Martínez, F. Herrera, and E. Herrera-Viedma. A fuzzy model to evaluate the suitability of installing an enterprise resource planning system. *Information Sciences*, 179(14):2333–2341, 2009.
- [115] Y. C. Shen, G. T. R. Lin, K. P. Li, and B. J. C. Yuan. An assessment of exploiting renewable energy sources with concerns of policy and technology. *Energy Policy*, 38(8):4604–4616, 2010.
- [116] M. Sugeno. *Theory of fuzzy integrals and its applications*. PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 1974.
- [117] Y. Tang. A collective decision model involving vague concepts and linguistic expressions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 38(2):421–428, 2008.
- [118] V. Torra. Negation function based semantics for ordered linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*, 11:975–988, 1996.
- [119] V. Torra. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6):529–539, 2010.

- [120] E. Triantaphyllou. *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [121] H. H. Tsai and I. Y. Lu. The evaluation of service quality using generalized Choquet integral. *Information Sciences*, 176(6):640–663, 2006.
- [122] Amjad Umar. *Object-oriented client/server Internet environments*. Prentice-Hall PTR, Enero 1997.
- [123] E. Vázquez Inchausti and J. García-Tenorio Ronda. Evaluación del desempeño y diversificación empresarial: un enfoque de taxonomías. In *XIV Congreso ACEDE, Murcia, Spain, 2004*.
- [124] Z. Wang and G. Klir. *Fuzzy measure theory*. Plenum press, New York:, 1992.
- [125] Z. Wang and G. Klir. *Fuzzy measure theory*. Plenum Press, 1992.
- [126] 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.
- [127] Y. Xu, D. Ruan, K. Y. Qin, and J. Liu. *Lattice-valued logic: an alternative approach to treat fuzziness and incomparability*. Springer Verlag, 2003.
- [128] R. R. Yager. On Ordered Weighted Averaging Operators in Multicriteria Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18:183–190, 1988.
- [129] R. R. Yager. Connectives and quantifiers in fuzzy sets. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 40:39–76, 1991.
- [130] R. R. Yager. Non-Numeric Multi-Criteria Multi-Person Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, 2:81–93, 1993.
- [131] R. R. Yager. An Approach to Ordinal Decision Making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12:237–261, 1995.
- [132] R. R. Yager. Quantifier guided aggregation using OWA operators. *International Journal Intelligent Systems*, 11:49–73, 1996.

- [133] W. Yang and Z. Chen. New aggregation operators based on the Choquet integral and 2-tuple linguistic information. *Expert Systems with Applications*, 39(3):2662–2668, 2012.
- [134] A. Yazici and R. George. *Fuzzy Database Modeling*. Phisyca-Verlag, 1999.
- [135] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353, 1965.
- [136] L. A. Zadeh. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers and Mathematics with Applications*, 9:149–184, 1983.
- [137] L. A. Zadeh and J. Kacprzyk. *Fuzzy logic for the management of uncertainty*. John Wiley, New York, 1992.
- [138] L.A. 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.
- [139] G. Zhang and J. Lu. An integrated group decision-making method dealing with fuzzy preferences for alternatives and individual judgments for selection criteria. *Group Decision and Negotiation*, 12(6):501–515, 2003.
- [140] H. J. Zimmermann. *Fuzzy sets: theory and its applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.